

ENO DARCI SAATKAMP

**DESENVOLVIMENTO E EXPERIMENTAÇÃO DE UM FORMATO  
PARA A TRANSMISSÃO DE CORREÇÕES DGPS PELO RDS  
NO BRASIL**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Geodésicas.

Orientadores:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Pereira Krueger

Univ. Prof. Dr. - Ing. Prof. h. c. Günter Seeber

CURITIBA

2003

Saatkamp, Eno Darci

Desenvolvimento e experimentação de um formato para a  
transmissão de correções DGPS pelo RDS no Brasil /  
Eno Darci Saatkamp. Curitiba, 2003.

162 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Cláudia Pereira Krueger

Co-Orientador: Univ. Prof. Dr. Ing. Prof. h. c. Günter Seeber

Tese (Doutorado) – Setor de Ciências da Terra, Universidade  
Federal do Paraná.

Inclui Bibliografia

1. DGPS (Sistema de posicionamento global pelo método  
diferencial). 2. RTCM (Radio Technical Commission for Maritime  
Services). 3. Sistema de Rádio - Transmissão. 4. Posicionamento  
em tempo real. I. Krueger, Cláudia Pereira. II. Seeber, Günter.  
III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

CDD 20.ed. 526.6

**“DESENVOLVIMENTO E EXPERIMENTAÇÃO DE UM  
FORMATO PARA A TRANSMISSÃO DE CORREÇÕES  
DGPS PELO RDS NO BRASIL”**

**POR**

**ENO DARCI SAATKAMP**

Tese nº 026 aprovada como requisito parcial do grau de Doutor no  
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade  
Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

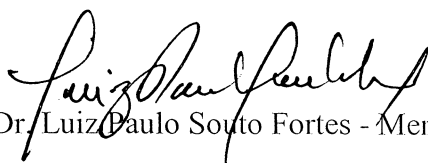
Curitiba, 14 de fevereiro de 2003.



Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Cláudia Pereira Krueger - Orientadora e Presidente (UFPR)



Prof. Dr. Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva – Membro (IME)



Dr. Luiz Paulo Souto Fortes - Membro (IBGE-RJ)



Prof. Dr. Walter Godoy Junior - Membro (CEFET-PR)



Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés – Membro (UNIDERP)



Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira - Membro (UFPR)

## AGRADECIMENTOS

O autor deseja externar seus agradecimentos às pessoas e instituições abaixo relacionadas.

Aos meus pais Gerdvilm e Marli, pela educação visando um ser provido de caráter, respeito e honestidade.

À minha irmã Diana Mara, pela amizade e confiança, e a passagem de uma alegre e agradável energia de equilíbrio e de bem estar com a vida.

À minha esposa, Bernadete Mattiuzzi, pela constante preocupação com meu bem estar e minha alimentação, e pela companhia, mesmo sem entender do tema, durante os longos, intermináveis e angustiantes períodos de desenvolvimento e depuração do sistema, ocorridos no LAGE (Laboratório de Geodésia Espacial) e em nossa casa. Seus cafunés sempre foram muito confortantes, seja nos momentos de descanso, seja nos períodos difíceis de trabalho.

Ao Prof. Dr. Sílvio R. C. de Freitas, pela confiança depositada e pela oportunidade oferecida, sem os quais este trabalho não teria se tornado realidade.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Pereira Krueger, pela amizade, orientação, revisão e sugestões visando a realização de um trabalho de qualidade.

Ao Prof. Dr.-Ing. Günter Seeber, pela acolhida no *Institut für Erdmessung* (IfE-Universidade de Hannover) e orientação durante os seis meses de pesquisa na Alemanha, e às críticas e sugestões para melhorias neste trabalho.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sílvia Helena Schwab, pela permanente e confiante amizade.

Aos doutorandos: Álvaro Machado, pelo auxílio nos momentos críticos de programação; e Prof. Wilson (baiano), pelas discussões, troca de idéias e informações sobre o tema, e o auxílio na instalação da antena na emissora Educativa.

Ao colega e amigo Jaime Freiburger Jr., pela amizade e o compartilhamento da cultura alemã, e o auxílio nos levantamentos em campo com seu veículo.

A todos aqueles alunos, professores e funcionários do departamento de Geomática (em especial àqueles do LAGE - Laboratório de Geodésia Espacial), e do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - CPGCG, cujos nomes não foram aqui citados, mas não por isso menos importantes. Agradeço pela amizade, o coleguismo, e a ajuda nos momentos necessários.



Ao Prof. Dr. Walter Godoy Jr., do CEFET-PR, pela oportunidade de cursar suas disciplinas de Teoria da Informação e Codificação e de Códigos Controladores de Erros, importantes para o entendimento dos aspectos relacionados àqueles temas durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Miriam Gellrich Pedra, pelo competente auxílio na tradução do resumo para a língua alemã.

Ao Diretor Técnico da Rádio e Televisão Educativa do Paraná - RTVE, Sr. Nelson Ribas, pela receptividade e a abertura para o intercâmbio técnico/científico, permitindo a instalação de equipamentos nos transmissores da Emissora Educativa e sua utilização para a transmissão do sinal do RDS durante o período de testes. Também, ao Diretor da RTVE, Sr. José de Mello, pelo receptivo contato inicial.

A Rubens Pedroso, consultor da PST (Campinas), pelas informações e orientações sobre a configuração do codificador/modulador RDS.

A Sr<sup>a</sup>. Trícia N. S. C. Machado, da Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL, a resposta às consultas relativas a normatização e utilização do RDS.

Aos alemães: Stefan Willgalis, Volker Böder, Ortwin Krüger e às demais pessoas do IfE - *Institut für Erdmessung* da Universidade de Hannover; e a Ralf Heyen, Frank Anshelm, Oliver Schiele, Beate e demais pessoas do *Institut für Navigation* da Universidade de Stuttgart, pelo auxílio e o grande coleguismo no período de pesquisas nestes locais. Ainda, a Walter Lindstrot, Günter Schoemakers (WDR), Paul Raven, Wolfgang Engelmayer e Joachim Schaefer, pela programação e recepção para uma visita técnica exclusiva de dois dias ao *Lande Vermessungsamt Nordrhein-Westfalen*, em Bonn, e à oportunidade da obtenção de informações, orientações e discussões pertinentes ao tema DGPS por RDS. Por fim, a Udo Deutscher, pelo empréstimo do programa RDS\_20.PAS para a adaptação e utilização neste trabalho.

À CAPES, pelo benefício da bolsa de doutorado.

Todos podem começar, mas só os ousados terminarão.

Napoleon Hill

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	ii
<b>SUMÁRIO</b> .....	v
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	vii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	ix
<b>RESUMO</b> .....	xiii
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	xiv
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 DGPS – ASPECTOS GERAIS</b> .....	5
2.1 PRINCÍPIO BÁSICO DO DGPS .....	5
2.1.1 Enlaces de Comunicação .....	7
2.2 ELEMENTOS DE DADOS MAIS IMPORTANTES NO DGPS .....	12
2.3 O FORMATO RTCM E SUAS MENSAGENS .....	14
<b>3 PRINCÍPIOS BÁSICOS DO RDS</b> .....	20
3.1 DESCRIÇÃO GERAL .....	20
3.2 ESTRUTURA DOS GRUPOS RDS .....	25
3.3 SINCRONIZAÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA ERROS .....	26
<b>4 DESENVOLVIMENTO DO FORMATO PARA O DGPS POR RDS</b> .....	28
4.1 DECODIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DA MENSAGEM RTCM TIPO 1 .....	28
4.2 COMPACTAÇÃO DOS DADOS RTCM E ADAPTAÇÃO AO RDS .....	38
4.3 O PROTOCOLO UECF - <i>UNIVERSAL ENCODER COMMUNICATION</i> <i>PROTOCOL</i> .....	54
4.4 PROGRAMAS CODIFICADORES E DECODIFICADORES DESENVOLVIDOS .....	57
4.4.1 Programa Codificador CRTCMRDS .....	58
4.4.2 Programa Decodificador DRDSRTCM .....	60
<b>5 LEVANTAMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	63
5.1 LEVANTAMENTO DGPS COM O SISTEMA EM CONDIÇÕES IDEAIS ...	65
5.2 LEVANTAMENTOS EM CONDIÇÕES REAIS .....	74
5.2.1 Descrição da Implementação Temporária do Sistema de Transmissão DGPSBRDS .....	74
5.2.2 Descrição da Implementação Temporária do Sistema Móvel DGPSBRDS ....	79
5.2.3 Levantamentos Realizados com o DGPSBRDS .....	83
5.2.3.1 Levantamento de curto período para avaliação inicial do DGPSBRDS .....	84
5.2.3.2 Levantamentos estáticos com o DGPSBRDS .....	86
5.2.3.3 Levantamentos cinemáticos com o DGPSBRDS .....	113
5.2.3.4 Levantamentos estático de longo período com o DGPSBRDS .....	118
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	121
6.1 ALGUMAS BREVES CONSIDERAÇÕES PARA A IMPLEMENTAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE UM SERVIÇO COM O DGPSBRDS .....	121
6.2 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	125
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	132

<b>APÊNDICE 1 - PROGRAMA DECRTCM.BAS E TRECHO DE MENSAGEM ASCII/RTCM TIPO 1 E SUA DECODIFICAÇÃO/INTERPRETAÇÃO .....</b>	<b>136</b>
<b>APÊNDICE 2 - ESQUEMA ELÉTRICO DO CIRCUITO DE INTERFACE DE COMUNICAÇÃO SERIAL PADRÃO RS232C ADAPTADO/INSTALADO NO RECEPTOR FM/DEMODULADOR RDS .....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXO 1 - CONJUNTO PADRÃO DE CARACTERES ASCII E SEUS CÓDIGOS .....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXO 2 - <i>E-MAIL</i> REFERENTE AO EMPRÉSTIMO DO PROGRAMA RDS-20.PAS .....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXO 3 - TERMO DE COOPERAÇÃO TÉCNICO/CIENTÍFICA ENTRE A RTVE E A UFPR .....</b>	<b>152</b>
<b>ANEXO 4 - SIGLAS E DEFINIÇÕES DE TERMOS E EXPRESSÕES .....</b>	<b>156</b>

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABERT	- Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão
AF	- Alternative Frequencies list
AID	- Applications Identification for ODA
ANATEL	- Agência Nacional de Telecomunicações
ASCII	- American Standard Code for Information Interchange
bps	- bits por segundo
C/A	- Coarse Acquisition - Código de acesso livre do sinal GPS
CCITT	- Comité Consultatif Internationale de Télégraphie et Téléphonie
CENELEC	- Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
CRC	- Cyclic Redundancy Check
CRTCMRDS	- Codificador RTCM=>RDS
CZMR	- Contador Z Modificado Reduzido
DECRDS	- Decodificador RDS
DECRTCM	- Decodificador RTCM
DGPS	- Differential GPS - GPS Diferencial
DGPSBRDS	- DGPS Brasileiro por RDS
DRDSRTCM	- Decodificador RDS=>RTCM
EBU	- European Broadcasting Union
EHF	- Extra High Frequency
EIA	- Eletronic Industries Association
ELF	- Extra Low Frequency
FM	- Frequência Modulada
GPS	- Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global
HDOP	- Horizontal Dilution of Position
HF	- High Frequency
IODE	- Issue of Data Ephemeris
LAGE	- Laboratório de Geodésia Espacial
LF	- Low Frequency
LSB	- Least Significant Bit
MF	- Medium Frequency
MSB	- Most Significant Bit
MZC	- Modified Z Count
NMEA	- National Marine Electronics Association
ODA	- Open Data Applications
PI	- Programme Identification
PRC	- Pseudorange Correction
PRN	- Pseudo-Random Noise
PTY	- Programme Type
PTYN	- Programme TYpe Name
RBMC	- Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RDS	- Radio Data System
RRC	- Range Rate Correction
RTCM	- Radio Technical Commission for Maritime Services

RTK	- Real Time Kinematic
RTVE	- Rádio e Televisão Educativa do Paraná
SA	- Selective Availability - Disponibilidade Seletiva
SATID	- Satellite Identity
SHF	- Super High Frequency
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	- Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SNR	- Signal to Noise Ratio - Razão sinal/ruído
UDRE	- User Differential Range Error
UECP	- Universal Encoder Communication Protocol
UHF	- Ultra High Frequency
UTC	- Coordinated Universal Time
UV	- Ultravioleta
VHF	- Very High Frequency
VLF	- Very Low Frequency
WGS 84	- World Geodetic System 1984

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA	01	- PRINCÍPIO BÁSICO DO MÉTODO GPS DIFERENCIAL .....	06
FIGURA	02	- O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO .....	08
FIGURA	03	- DUAS PRIMEIRAS PALAVRAS DE CADA QUADRO DE MENSAGEM RTCM .....	17
FIGURA	04	- PALAVRAS DO QUADRO DE MENSAGEM RTCM TIPO 1 (CORREÇÕES DIFERENCIAIS) .....	18
FIGURA	05	- PRINCÍPIO PARA O POSICIONAMENTO DGPS UTILIZANDO FM-RDS .....	21
FIGURA	06	- ESPECTRO DE RADIODIFUSÃO FM ESTÉREO COM RDS .....	22
FIGURA	07	- ESTRUTURA BÁSICA DOS GRUPOS DO RDS .....	22
FIGURA	08	- ESTRUTURA DOS GRUPOS DO RDS .....	25
FIGURA	09	- FLUXOGRAMA PARA IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO DE PARIDADE .....	33
FIGURA	10	- ESTRUTURA DOS GRUPOS RDS-ODA TIPO A .....	41
FIGURA	11A	VALORES DA CORREÇÃO DA PSEUDODISTÂNCIA .....	44
FIGURA	11B	VALORES DA CORREÇÃO DA PSEUDODISTÂNCIA .....	45
FIGURA	11C	VALORES DA CORREÇÃO DA PSEUDODISTÂNCIA .....	46
FIGURA	12	- VALORES TÍPICOS PARA A CORREÇÃO DA PSEUDODISTÂNCIA-PRC .....	47
FIGURA	13	- VALORES DA VARIAÇÃO DA CORREÇÃO DA PSEUDODISTÂNCIA A INTERVALOS DE 14,4 SEGUNDOS .....	48
FIGURA	14	- ESTRUTURA BÁSICA PARA O POSICIONAMENTO DGPS UTILIZANDO FM-RDS .....	53
FIGURA	15	- FORMATO GERAL DE UM QUADRO UECF .....	55
FIGURA	16	- FORMATO DO PROTOCOLO PARA MENSAGENS DOS GRUPOS ODA .....	57
FIGURA	17	- FLUXOGRAMA GERAL DO PROGRAMA CODIFICADOR CRTCMRDS .....	58
FIGURA	18	- FLUXOGRAMA GERAL DO PROGRAMA DECODIFICADOR DRDSRTCM .....	60
FIGURA	19	- CIRCUITO PARA MONITORAMENTO E CONFIGURAÇÃO DE PORTA SERIAL .....	64
FIGURA	20	- ANTENA GEODÉSICA SOBRE O MARCO RM3 DO LAGE .....	66
FIGURA	21	- ESQUEMA PARA O LEVANTAMENTO DGPS NA CONDIÇÃO IDEAL .....	67
FIGURA	22	- ESQUEMA PARA O LEVANTAMENTO DGPS USANDO DGPSBRDS NA SITUAÇÃO IDEAL .....	68
FIGURA	23	- EQUIPAMENTOS DO RASTREIO DGPS USANDO DGPSBRDS NA SITUAÇÃO IDEAL .....	68
FIGURA	24	- ERROS NA POSIÇÃO PARA O RASTREIO DGPS IDEAL DIRETO .....	69
FIGURA	25	- DISTRIBUIÇÃO DOS ERROS PARA O RASTREIO DGPS IDEAL DIRETO .....	69
FIGURA	26	- ERROS NA POSIÇÃO PARA O RASTREIO DGPS COM O SISTEMA GPSBRDS IDEAL .....	70
FIGURA	27	- DISTRIBUIÇÃO DOS ERROS DO RASTREIO DGPS COM O SISTEMA DGPSBRDS IDEAL .....	70
FIGURA	28	- ERROS NA POSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS ERROS DO RASTREIO DGPS COM O SISTEMA DGPSBRDS IDEAL, SEM ERROS ESPÚRIOS .....	72

FIGURA	29	- ERROS NA POSIÇÃO OBTIDOS NA TRANSIÇÃO DO LEVANTAMENTO DGPS IDEAL COM O DGPSBRDS PARA O LEVANTAMENTO PELO MÉTODO ABSOLUTO .....	73
FIGURA	30	- INSTALAÇÃO DA ANTENA GPS NA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA .....	75
FIGURA	31	- ANTENA GPS INSTALADA NA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA .....	76
FIGURA	32	- ESQUEMA UTILIZADO NA EMISSORA FM PARA A TRANSMISSÃO DO SINAL RDS .....	77
FIGURA	33	- INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS JUNTO AOS TRANSMISSORES DA RTVE .....	79
FIGURA	34	- ESQUEMA UTILIZADO NO VEÍCULO PARA O RASTREIO DE PONTOS POR DGPSBRDS .....	80
FIGURA	35	- VEÍCULO EQUIPADO PARA OS LEVANTAMENTOS COM O DGPSBRDS .....	81
FIGURA	36	- ADAPTAÇÃO DO RECEPTOR FM/DEMODULADOR RDS .....	81
FIGURA	37	- RECEPTOR FM/DEMODULADOR RDS ADAPTADO PRONTO PARA USO .....	82
FIGURA	38	- RESULTADOS DE DGPSBRDS COM DUAS TRANSIÇÕES ENTRE O MODO DIFERENCIAL E O ABSOLUTO COM RECEPTOR DE CADASTRO .....	85
FIGURA	39	- DISTRIBUIÇÃO DOS MARCOS PARA OS LEVANTAMENTOS ESTÁTICOS COM O DGPSBRDS .....	86
FIGURA	40	- LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO RM03 ....	88
FIGURA	41	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO RM03 - RECEPTOR DE CADASTRO .....	89
FIGURA	42	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO RM03 - RECEPTOR GEODÉSICO .....	90
FIGURA	43	- LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO JBOT ....	91
FIGURA	44	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO JBOT - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO .....	92
FIGURA	45	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO JBOT - RECEPTOR DE CADASTRO .....	92
FIGURA	46	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO JBOT - RECEPTOR GEODÉSICO .....	93
FIGURA	47	- LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO FOOT ....	94
FIGURA	48	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO FOOT - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO .....	94
FIGURA	49	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO FOOT - RECEPTOR DE CADASTRO .....	95
FIGURA	50	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO FOOT - RECEPTOR GEODÉSICO .....	95
FIGURA	51	- LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO TECS ....	96
FIGURA	52	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO TECS - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO .....	97
FIGURA	53	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO TECS - RECEPTOR DE CADASTRO .....	97
FIGURA	54	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO TECS - RECEPTOR GEODÉSICO .....	98
FIGURA	55	- LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO KM03 ...	99
FIGURA	56	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO KM03 - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO .....	99
FIGURA	57	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO KM03 - RECEPTOR DE CADASTRO .....	100
FIGURA	58	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO KM03 - RECEPTOR GEODÉSICO .....	100



FIGURA	59	- LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO EDIT .....	101
FIGURA	60	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO EDIT - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO .....	101
FIGURA	61	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO EDIT - RECEPTOR DE CADASTRO .....	102
FIGURA	62	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO EDIT - RECEPTOR GEODÉSICO .....	102
FIGURA	63	- LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO ROND ...	103
FIGURA	64	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO ROND - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO .....	104
FIGURA	65	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO ROND - RECEPTOR DE CADASTRO .....	104
FIGURA	66	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO ROND - RECEPTOR GEODÉSICO .....	105
FIGURA	67	- LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO CHRI ....	105
FIGURA	68	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO CHRI - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO .....	106
FIGURA	69	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO CHRI - RECEPTOR DE CADASTRO .....	107
FIGURA	70	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO CHRI - RECEPTOR GEODÉSICO .....	107
FIGURA	71	- FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS ERROS - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO .....	111
FIGURA	72	- FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS ERROS - RECEPTOR DE CADASTRO .....	111
FIGURA	73	- FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS ERROS - RECEPTOR GEODÉSICO .....	112
FIGURA	74	- LIMITE SUPERIOR DO INTERVALO DE CONFIANÇA DE 68% (ERRO MÉDIO + DESVIO PADRÃO) PARA OS ERROS PLANIMÉTRICOS .....	112
FIGURA	75	- ANTENAS FIXADAS NO TETO DO VEÍCULO PARA O LEVANTAMENTO CINEMÁTICO .....	113
FIGURA	76	- PLOTAGEM DOS PONTOS DO RASTREIO DGPSBRDS CINEMÁTICO COM RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO .....	115
FIGURA	77	- PLOTAGEM DOS PONTOS DO RASTREIO DGPSBRDS CINEMÁTICO COM RECEPTOR DE CADASTRO .....	116
FIGURA	78	- PLOTAGEM DOS PONTOS DO RASTREIO DGPSBRDS CINEMÁTICO COM RECEPTOR GEODÉSICO .....	117
FIGURA	79	- COMPORTAMENTO DO ERRO NA POSIÇÃO, HDOP E NÚMERO DE SATÉLITES .....	119
FIGURA	80	- RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO RM03 - RECEPTOR GEODÉSICO .....	120
FIGURA	81	- EMISSORAS DE RÁDIO FM NO ESTADO DO PARANÁ .....	123
QUADRO	01	- PRECISÃO NO POSICIONAMENTO DGPS E A BANDA DE FREQUÊNCIA DO ENLACE DE COMUNICAÇÃO .....	11
QUADRO	02	- TIPOS DE MENSAGEM RTCM .....	15
QUADRO	03	- GRUPOS RDS E SEU USO .....	23
QUADRO	04	- VALORES BINÁRIOS DAS PALAVRAS AGREGADAS .....	26
QUADRO	05	- AMOSTRA DE MENSAGEM RTCM TIPO 1 NO FORMATO ASCII .....	29
QUADRO	06	- EQUAÇÕES DE CODIFICAÇÃO DA PARIDADE .....	32
QUADRO	07	- INDICADOR DO ESTADO DE SAÚDE DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA .....	35
QUADRO	08	- FATOR DE ESCALA PARA A PRC E A RRC .....	36
QUADRO	09	- FAIXA DE ERRO DO USUÁRIO DIFERENCIAL (UDRE) .....	36

QUADRO	10	- BITS NECESSÁRIOS PARA O FORMATO RTCM E O DGPSBRDS	52
QUADRO	11	- EXEMPLO ILUSTRATIVO DA SEQUÊNCIA DE TRANSMISSÃO DOS QUADROS PELO PROGRAMA CRTCMRDS .....	59
QUADRO	12	- AMOSTRA DE QUADROS RDS-ODA GERADOS PELO DGPSBRDS .....	62
QUADRO	13	- RESULTADOS ESTATÍSTICOS DOS RASTREIOS DGPS EM CONDIÇÕES IDEAIS .....	72
QUADRO	14	- COORDENADAS GEODÉSICAS DOS MARCOS OCUPADOS (WGS 84) .....	87
QUADRO	15	- RESULTADOS ESTATÍSTICOS PARA OS LEVANTAMENTOS DGPS/RDS – ERRO MÉDIO E DESVIO-PADRÃO EM METROS.....	109
QUADRO	16	- FREQUÊNCIA RELATIVA DOS ERROS DE POSIÇÃO (EM %) PARA OS LEVANTAMENTOS DGPS/RDS E INDICAÇÃO DA QUALIDADE DO POSICIONAMENTO .....	109

## RESUMO

Desenvolveu-se e experimentou-se um formato que permite a disponibilização de um serviço de transmissão de correções diferenciais para DGPS, fazendo uso de emissoras de radiodifusão sonora em frequência modulada (FM), mediante a utilização do seu canal secundário para a radiotransmissão de dados (conhecida por RDS - *Radio Data System*). O método DGPS é eficaz para apoiar atividades nas quais se requer um posicionamento contínuo, em tempo real, e onde acurácias na ordem do metro (1 a 3 m) sejam necessárias. Tendo em vista que para ele é necessário um meio de comunicação para transmitir as correções diferenciais, e que a disponibilidade deste meio nem sempre existe de forma fácil e/ou econômica no Brasil, escolheu-se o RDS para tal finalidade. A vantagem em utilizá-lo para um serviço de transmissão das correções diferenciais (para DGPS) está no fato de que existe uma boa distribuição de emissoras FM, e aproveita-se a estrutura de transmissão já existente. Assim, pode-se ter, de forma econômica, uma boa cobertura geográfica. Por outro lado, o RDS é bastante restrito quanto à capacidade na taxa de transmissão dos dados. No formato desenvolvido, compactam-se as informações de correção diferencial do formato RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) para um formato compatível com o RDS. Ele foi desenvolvido porque não há um formato aberto para a aplicação desejada, sendo denominado DGPSBRDS (DGPS Brasileiro por RDS). Realizaram-se testes de avaliação do DGPSBRDS: em condições ideais, para validar os programas e avaliar a degradação do posicionamento causada pela compactação das informações; e em condições reais, para avaliar o funcionamento do sistema completo e as precisões obtidas em levantamentos DGPS. Implementou-se o sistema temporariamente numa emissora FM, na cidade de Curitiba, e efetuaram-se levantamentos DGPS estáticos em oito marcos, situados na cidade e região, com receptores GPS de três diferentes categorias: de navegação, de cadastro e geodésico. Observou-se que ele funcionou de forma satisfatória, obtendo-se acurácias no posicionamento variando entre  $0,31 \pm 0,58$  m e  $0,72 \pm 1,13$  m com o receptor de cadastro, entre  $0,28 \pm 1,68$  m e  $1,64 \pm 3,88$  m com o receptor de navegação e entre  $0,31 \pm 0,49$  e  $2,25 \pm 2,72$  m com o receptor geodésico. Realizaram-se também rastreios cinemáticos, no *campus* do Centro Politécnico da UFPR, com os receptores GPS instalados em um veículo. O desenvolvimento do formato e os resultados obtidos com o uso do mesmo são apresentados ao longo deste trabalho.

Palavras-chave: DGPS, RDS, posicionamento em tempo real.

## ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde ein Format entwickelt, mit dessen Hilfe ein Dienst zur Übermittlung von DGPS-Korrekturdaten bereitgestellt werden kann, welcher das Radiodatensystem (RDS) von UKW-Sendern nutzt. Das DGPS-Verfahren wird zur Unterstützung von Messungen, bei denen eine kontinuierliche Positionsbestimmung in Echtzeit und mit Metergenauigkeit (1 bis 3 Meter) erforderlich ist, eingesetzt. Da es ein Übertragungsmedium erfordert, ein solches in Brasilien aber nicht allorts einfach und kostengünstig zur Verfügung steht, hat man sich in der vorliegenden Untersuchung für RDS entschieden. Sein Vorteil besteht darin, dass UKW-Sender bereits zahlreich und flächendeckend vorhanden sind, (was es ermöglicht, auf ökonomische Weise ein grosses Gebiet abzudecken). Allerdings ist die Datenübertragungskapazität des RDS sehr eingeschränkt. Das neue Format, DGPSBRDS (DGPS Brasileiro por RDS) genannt, komprimiert RTCM-Korrekturdaten so, dass sie mit dem RDS kompatibel sind. Es wurde entwickelt, da es keinen offenen Standard für DGPS mit RDS gibt. Leistungstests wurden durchgeführt. Das DGPSBRDS-System wurde für einen bestimmten Zeitraum in einen UKW-Sender in Curitiba eingebaut und an acht Orten in der Stadt und der Region statische DGPS-Messungen durchgeführt, mit drei verschiedenen GPS-Empfängerkategorien: für Navigation, Kataster und Geodäsie. Es wurden befriedigende Ergebnisse erzielt: Die Positionierungsgenauigkeit variierte zwischen  $0,31 \pm 0,58$  m und  $0,72 \pm 1,13$  m ( $1\sigma$ ) für Kataster; zwischen  $0,28 \pm 1,68$  m und  $1,64 \pm 3,88$  m ( $1\sigma$ ) für Navigations; zwischen  $0,31 \pm 0,49$  und  $2,25 \pm 2,72$  m ( $1\sigma$ ) für Geodetic GPS Empfänger. Auch für kinematische Anwendungen wurden Daten erhoben. Die vorliegende Arbeit dokumentiert die Entwicklung des Formats sowie die Ergebnisse der Anwendungstests.

Schlagwörter: DGPS, RDS, Echtzeitpositionierung.

## 1 INTRODUÇÃO

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) tem revolucionado não somente a Geodésia, mas também diversas outras áreas técnicas e científicas, onde a sua utilização e os campos de aplicação vêm se tornando cada vez mais amplos. Entretanto, em algumas aplicações em tempo real (por exemplo, na navegação, em alguns tipos de cadastro e na agricultura de precisão), o posicionamento absoluto ainda não fornece a precisão adequada, podendo ter erros de até 25 m (probabilidade de 95%) com o uso do código C/A e com a técnica de segurança SA desativada (DIVIS, 2000, p. 16). Visando diminuir este erro de posicionamento, recorre-se ao método GPS Diferencial (DGPS), que atualmente é um dos métodos mais empregados. Este método consiste no posicionamento de um receptor usuário DGPS, que pode ser móvel ou fixo, com o uso das correções (usualmente denominadas de correções diferenciais) geradas em uma estação de referência (receptor de referência).

Para que o receptor usuário possa utilizar estas correções, é necessário que se transmita as mesmas até ele. No Brasil, não há muitas opções de serviços de fornecimento de correções aos usuários do DGPS. Basicamente, têm-se os serviços via satélite e os serviços fornecidos por rádio-faróis (*beacon*). Aqueles são relativamente caros, e estes disponíveis apenas nas regiões da costa marítima (BRIONES, 1999, p. 38-40). Dessa forma, o usuário que necessita realizar um levantamento em tempo real pelo método DGPS muitas vezes implementa seu próprio sistema de geração e transmissão das correções. Ele necessitará para isso implantar sua própria estação de referência, ou seja, ele terá que dispor de um receptor GPS adicional (além daquele para o levantamento), preferencialmente geodésico, e também de um sistema para a transmissão das correções geradas por esta estação de referência até o ponto onde ele esteja efetuando o levantamento. Ademais, será despendido um certo tempo para colocar todo o sistema em funcionamento, sem contar os possíveis problemas técnicos que geralmente ocorrem neste processo.

Um dos meios que vem sendo utilizado em alguns países para transmitir as

correções diferenciais são as emissoras de radiodifusão comercial em FM (frequência modulada), por meio de um padrão denominado RDS - *Radio Data System* (KOPITZ & MARKS, 1999, p. 189 a 199). Ele é muito limitado em capacidade, e por isso permite apenas a transmissão de correções diferenciais, ou seja, fazendo-se uso do código da portadora do sinal GPS (ou do código suavizado pela portadora), podendo-se obter posicionamentos com precisões relativas na ordem do metro.

Internacionalmente, verifica-se a existência de dois formatos. Um desenvolvido na Alemanha e outro nos Estados Unidos, sendo que nenhum destes é de domínio público. Não há um padrão aberto para o DGPS com o RDS uma vez que não houve um acordo entre os desenvolvedores dos formatos concorrentes na época do Fórum RDS de 1995 (KOPITZ & MARKS, 1999, p. 196; AdV, 1998, p. 22).

No Brasil, o RDS é pouco conhecido e seu uso para o DGPS ainda inexistente em virtude da falta de formatos ou padrões abertos para este fim.

O presente trabalho visa o desenvolvimento de um formato compacto que permita a utilização do RDS na transmissão de correções diferenciais no Brasil, ao qual será denominado DGPSBRDS (DGPS Brasileiro por RDS). A avaliação deste formato dar-se-á por meio de levantamentos realizados na cidade de Curitiba e ao longo da BR277. Buscou-se, também, transferir os conhecimentos adquiridos na Alemanha e adaptá-los à realidade brasileira.

De caráter multidisciplinar, este trabalho envolve soluções técnicas da tanto da Engenharia Eletrônica como das Telecomunicações no âmbito dos posicionamentos DGPS. A disponibilização de um serviço de correções DGPS no Brasil, que seja relativamente simples e barato, é viável, pois permitiria aplicações em massa nas mais diversas áreas. Dentre os usuários beneficiados pode-se citar: empresas que utilizem o GPS no cadastramento de entidades em banco de dados e/ou sistema de informações geográficas (SIG); universidades e/ou instituições de pesquisa; empresas que efetuem rastreamento de veículos; usuários particulares; assim como aplicações ainda não muito utilizadas aqui no Brasil, mas com um grande potencial futuro, tais como a

agricultura de precisão e a navegação veicular.

Inicialmente, aos leitores deste trabalho, pode-se indicar bibliografias especializadas em GPS, que fornecem informações detalhadas sobre este sistema de posicionamento. Dentre elas, cita-se SEEBER (1993), HOFFMANN-WELLENHOF et al. (1994) e LEICK (1995). Na língua portuguesa, cita-se MONICO (2000). As principais melhorias que ocorreram ou deverão ocorrer neste sistema de posicionamento são (MONICO 2000, p. 271 e 272): a inserção da SD (*Selective Denied*) – Proibição Seletiva; satélites dos blocos IIR e IIF com navegação autônoma (Auto-Nav); o estabelecimento de um grupo executivo (o IBEG), onde há membros da comunidade civil na participação dos assuntos do GPS; a anunciação da *Accuracy Improvement Initiative* (AII) – Iniciativa para Melhoria da Acurácia<sup>1</sup>, que integrará até 14 estações monitoras do NIMA<sup>2</sup>, resultando em melhorias na qualidade da órbita e correções dos relógios dos satélites; e a introdução de dois novos sinais civis: a modulação do código C/A sobre a já existente portadora L2 e uma nova portadora, a L5, com frequência de 1176,45 MHz portando o código civil numa frequência de 10 MHz (igual à frequência dos osciladores dos satélites).

Este trabalho está estruturado em 6 seções. Na seção 2 estão relatados os princípios básicos do DGPS, englobando ainda os elementos de dados mais importantes para o DGPS, o enlace de comunicação e o padrão RTCM - *Radio Technical Commission for Maritime Services* e suas mensagens.

Na seção 3 são apresentados os princípios básicos do RDS, visando proporcionar ao leitor e aos usuários uma revisão sobre este sistema.

Na seção 4 é apresentado o desenvolvimento do formato DGPSBRDS destinado à transmissão de correções diferenciais pelo RDS. Inicialmente apresenta-se como é realizada a decodificação e a interpretação da mensagem RTCM tipo 1, em todos os seus detalhes. Posteriormente, apresenta-se a compactação dos dados do

---

<sup>1</sup> Acurácia: proximidade entre o valor obtido experimentalmente e o valor verdadeiro na medição de uma grandeza física (HOUAISS et al., 2001, p. 76).

<sup>2</sup> NIMA - *National Imagery and Mapping Agency*.

formato RTCM e sua adaptação ao RDS; o protocolo de comunicação com o codificador/modulador RDS (UECP - *Universal Encoder Communication Protocol*) e, finalmente, são apresentados os programas codificador e decodificador desenvolvidos (CRTCMRDS e DRDSRTCM).

Os levantamentos e a análise dos resultados são apresentados na seção 5. Apresentam-se os levantamentos com o sistema em condições ideais, a fim de se avaliar a degradação que o mesmo introduz no posicionamento devido à compactação dos dados. Posteriormente, apresentam-se os levantamentos em condições reais, com a descrição da implementação temporária do sistema de transmissão DGPSBRDS e do sistema móvel de rastreo DGPSBRDS bem como os levantamentos estáticos e os levantamentos cinemáticos realizados com o DGPSBRDS.

Algumas considerações a respeito da possível implementação e utilização de um serviço com o DGPSBRDS, as conclusões obtidas com este trabalho, bem como as recomendações a serem observadas, são apresentadas na seção 6.



## 2 DGPS – ASPECTOS GERAIS

### 2.1 PRINCÍPIO BÁSICO DO DGPS

Sabe-se que a medida da distância entre os centros de fase da antena de um receptor GPS e da antena do satélite, medida pelo receptor GPS, é afetada por diversos erros, sendo denominada de pseudodistância.

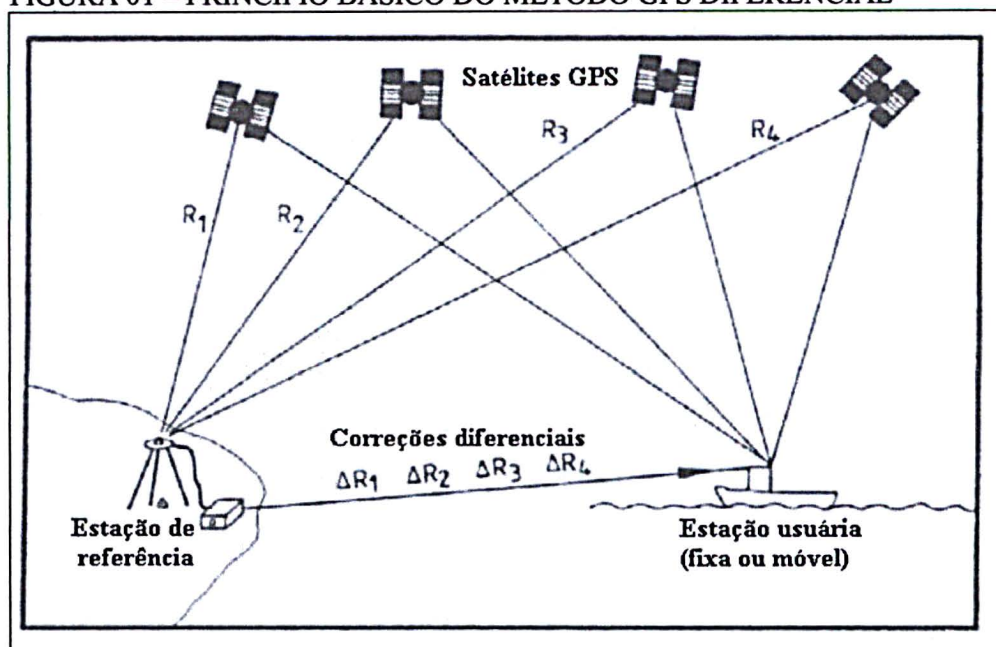
O método GPS Diferencial (DGPS) consiste no posicionamento GPS em tempo real com a aplicação de correções (as correções diferenciais), calculadas e transmitidas por uma estação de referência, conforme mostrado na figura 01. Seu princípio básico vale-se do fato que dois receptores GPS, que rastreiam simultaneamente os mesmos satélites, têm os erros atuantes, dentro de certos limites, correlacionados. A ocupação de uma estação de coordenadas conhecidas (estação de referência) possibilita a quantificação dos erros inerentes ao posicionamento absoluto nesta estação. Eles são calculados pela diferença entre as distâncias (calculadas com auxílio das coordenadas conhecidas, previamente levantadas e consideradas como verdadeiras) e as pseudodistâncias medidas pelo receptor GPS, para cada um dos satélites. Dentre as fontes destes erros pode-se citar os decorrentes:

- de erros do relógio do satélite e do receptor em relação ao tempo GPS;
- do efeito de multicaminho do sinal;
- da propagação (refração) do sinal na atmosfera (troposfera e ionosfera);
- das efemérides (imprecisão das órbitas); e
- do ruído do receptor.

Os erros decorrentes do ruído do receptor e do efeito de multicaminho do sinal, assim como os decorrentes do relógio do receptor (incluídos como parâmetro

adicional na solução da posição do receptor usuário)<sup>3</sup> não são, entretanto, atenuados pelo método Diferencial.

FIGURA 01 – PRINCÍPIO BÁSICO DO MÉTODO GPS DIFERENCIAL



FONTE: SEEBER (1993, p. 342)

NOTA: Adaptado pelo autor.

As correções diferenciais são transmitidas da estação de referência à estação usuária por meio de um enlace de comunicação de dados num formato padrão definido pela *Radio Technical Commission for Maritime Services – Special Committee 104* (RTCM, 1998). Elas podem ser utilizadas para posicionar a estação usuária em tempo real com uma qualidade melhor (maior acurácia) do que aquela que seria obtida num posicionamento absoluto (MONICO 2000, p. 182).

A validade das correções é função da distância entre as estações de referência e a usuária, isto é, quanto mais próxima a estação usuária estiver da estação de referência, mais correlacionados estarão os erros entre os dois pontos e melhor será a precisão no posicionamento do receptor nesta estação. Outro fator que degrada a precisão do DGPS é a latência das correções, ou seja, o tempo decorrido entre a

<sup>3</sup> Mais detalhes sobre estas fontes de erros, consultar: SEEBER (1993), HOFFMANN-WELLENHOF et al. (1994) e MONICO (2000).

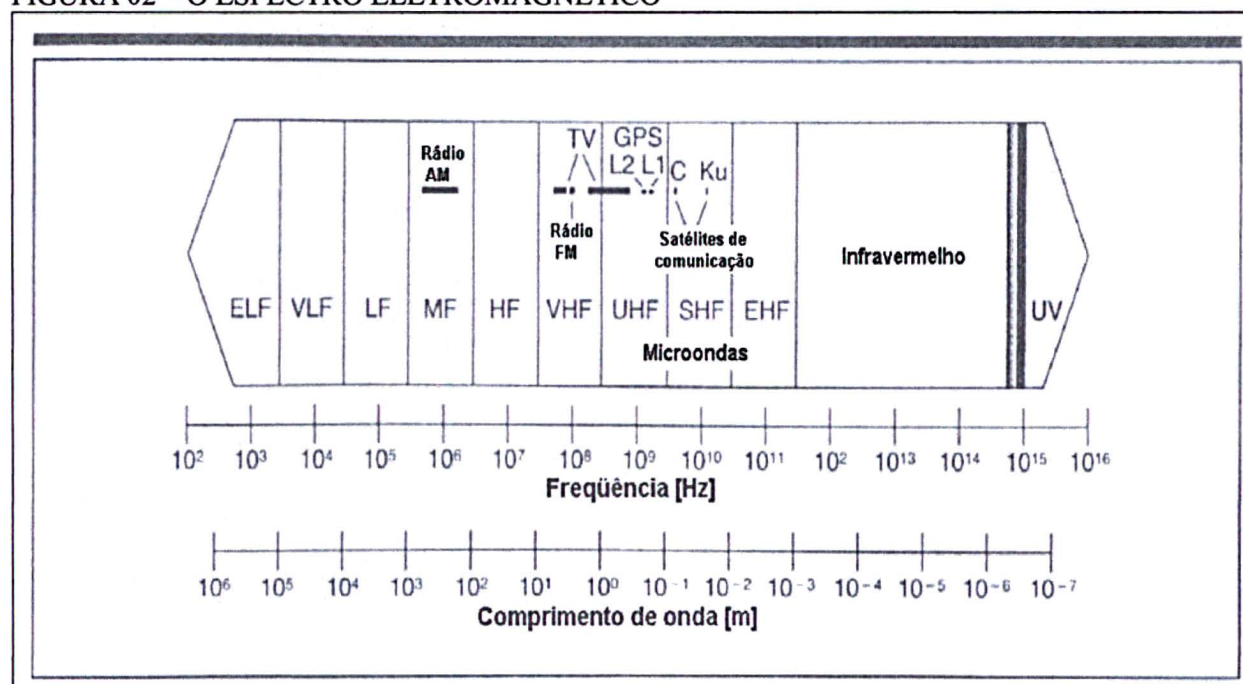
geração destas pela estação de referência e sua aplicação pela estação usuária. A latência está relacionada às características técnicas do sistema que efetua os cálculos, o controle e envio das correções por um meio de transmissão (comunicação). Uma destas características que influenciam na latência, a qual pode variar desde unidades a dezenas de segundos, é a capacidade de transmissão de dados do meio de comunicação utilizado, ou seja, sua taxa de transmissão, dada em bits por segundo (bps). Meios com baixa capacidade de transmissão ocasionarão uma latência maior. No DGPS, embora o mínimo necessário seja uma taxa de 50 bps ou mesmo de 25 bps (RTCM, 1998, p. 4-2), é desejável que se tenha uma taxa de transmissão de pelo menos 100 bps, a fim de que a latência não supere a dezena de segundos. De acordo com KOPITZ & MARKS (1999, p. 191), em estações distantes de até 1.000 km da estação de referência e à taxa de transmissão das correções de 100 bps, acurácias no intervalo de  $\pm 1$  a 5 m devem ser esperadas. Entretanto, deve-se tomar cuidado com estes valores preconizados ao uso do DGPS em distâncias grandes, pois os mesmos dependem das condições particulares do rastreo, como, por exemplo, da ionosfera na região. Podem haver situações nas quais o erro causado por ela seja grande o bastante para tornar o DGPS ineficaz em distâncias superiores a uma ou duas dezenas de quilômetros. Pesquisas realizadas no Brasil por FORTES (2002, p. 93), mostraram períodos onde os efeitos residuais da ionosfera foram superiores a 10 ppm, o que causaria um erro superior a 1 metro a cada centena de quilômetros de distância à estação de referência.

### 2.1.1 Enlaces de Comunicação

Um enlace de comunicação é necessário para a transmissão das correções diferenciais da estação de referência à estação usuária. Este enlace é realizado por meio de ondas eletromagnéticas, situadas em uma determinada faixa do espectro eletromagnético, conhecidas por radiofrequências. A figura 02 ilustra o espectro eletromagnético e as aplicações em algumas frequências ou bandas de frequência.

Observa-se que a faixa destinada à radiodifusão em FM<sup>4</sup>, empregada neste trabalho, situa-se em VHF (*Very High Frequency*), e as frequências da banda L utilizadas pelo GPS (L1=1575,42 MHz e L2=1227,60 MHz) situam-se em UHF (*Ultra High Frequency*). Em princípio, o enlace de comunicação poderia ser feito em qualquer faixa do espectro. Entretanto, ele é realizado apenas em determinadas faixas do mesmo, de acordo com as aplicações alocadas para ela, uma vez que o espectro eletromagnético tem que ser “repartido” (distribuído) para todas as aplicações de comunicação existentes, tais como: radiodifusão, TV, telefonia, radionavegação aeronáutica e marítima, radioastronomia, entre outras. No Brasil, a distribuição de uso do espectro eletromagnético consta em um documento publicado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), denominado **Tabela de Atribuição, Destinação, Distribuição e Regulamentação de Faixas de Frequências no Brasil**, o

FIGURA 02 – O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



FONTE: LANGLEY (1993, p. 48)

NOTA: Traduzido pelo autor.

<sup>4</sup> FM – Frequência Modulada. Modulação é o método pelo qual um parâmetro de uma onda (neste caso, a frequência) é modificado pela ação da intensidade de outra onda (neste caso, pelo sinal de áudio). A faixa para radiodifusão em FM, no Brasil e na maioria dos outros países, vai de 87,8 a 108,0 MHz.



qual se encontra disponível na internet, no seguinte endereço:  
<[http://www.anatel.gov.br/Tools/frame.asp?link=/biblioteca/atos/2002/ato\\_23577\\_2002.pdf](http://www.anatel.gov.br/Tools/frame.asp?link=/biblioteca/atos/2002/ato_23577_2002.pdf)>.

Cada faixa do espectro tem determinados comportamentos na propagação das ondas. Nas faixas VHF e UHF, muito utilizadas na transmissão das correções diferenciais, as ondas se caracterizam por terem seu alcance limitado à linha de visada entre as antenas transmissora e receptora, ou pouco mais que isso. De acordo com LANGLEY (1993, p. 48), o alcance nesta faixa pode ser estimado por:

$$D=4,1*(Ht+Hr)^{1/2} \quad (01)$$

Onde:

D: alcance do sinal em quilômetros;

Ht: altura da antena<sup>5</sup> transmissora em metros; e

Hr: altura da antena receptora em metros.

A equação 01 fornece a distância de radiovisibilidade entre duas antenas, sendo que ela considera a curvatura terrestre e a refração atmosférica (BRODHAGE e HORMUTH, 1981, p. 63). Entretanto, esta distância (alcance) é apenas uma estimativa, uma vez que outros fatores devem ser considerados, como será visto a seguir.

Um aspecto importante na localização de antenas em sistemas de radioenlace é o critério de liberação da primeira zona de Fresnel. Ela consiste de uma região do espaço delimitada por um elipsóide de revolução, cujo eixo maior situa-se no alinhamento que passa pelo centro de fase da antena transmissora. Segundo BRODHAGE e HORMUTH (1981, p. 64), define-se como elipsóide de Fresnel o lugar geométrico de todos os pontos para os quais a soma das distâncias às duas antenas supera a distância direta de meio comprimento de onda. Na zona de Fresnel encontram-se as condições de propagação livre do sinal eletromagnético

---

<sup>5</sup> A altura é tomada em relação ao nível médio (altura média) do terreno na região de instalação da antena.

(radiovisibilidade). O semi-eixo menor do elipsóide de Fresnel é expresso por:

$$b=(\lambda*d)^{1/2} / 2 \quad (02)$$

onde:

$\lambda$ = comprimento de onda do sinal eletromagnético<sup>6</sup>;

$d$ = distância entre as antenas.

Dessa equação, observa-se que à medida que a frequência cresce ( $\lambda$  diminui), o semi-eixo menor  $b$  diminui, ou seja, o aumento da frequência resulta numa concentração da energia irradiada em torno da linha de visada entre as antenas.

No planejamento de sistemas de radioenlace, é calculada a zona de Fresnel, e é observado o perfil do terreno (topografia), a fim de se controlar a obstrução da mesma. Como condição de livre propagação, no mínimo 60% da zona de Fresnel deve estar livre de obstruções. Nestas condições, a equação 01 fornece então uma boa estimativa da distância de radiovisibilidade.

Mais detalhes a respeito de radioenlace e radiovisibilidade podem ser encontrados em SILVA e BARRADAS (1977, p. 14-27) e BRODHAGE e HORMUTH (1981, p. 59-67).

Pelo exposto, conclui-se que as antenas transmissoras geralmente se localizam em locais altos para favorecer o alcance de seu sinal, ou seja, para evitar obstruções e permitir uma maior radiovisibilidade. O alcance das emissoras de radiodifusão em FM situa-se entre algumas dezenas e no máximo uma centena de quilômetros, dependendo também da qualidade do receptor utilizado e das condições geográficas (localização e altura da antena do receptor, e obstáculos físicos).

A taxa de dados que pode ser transmitida tem estreita ligação com a frequência utilizada. Em geral, quanto maior a frequência, maior é a quantidade de informação por unidade de tempo (taxa de dados) que pode ser modulada na mesma. A

---

<sup>6</sup> O comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência. A relação entre eles é dada por:  $\lambda=v/f$  ( $f$ =frequência,  $v$ =velocidade de propagação (no vácuo,  $v$ = velocidade da luz  $\approx 3*10^8$  m/s).

taxa de dados transmitidos por um meio também depende de outros parâmetros, tais como a técnica de modulação e a largura de banda empregada.

No quadro 01 mostram-se as diversas bandas de frequência que podem ser utilizadas no enlace de comunicação (transmissão das correções diferenciais) no DGPS, a taxa de transmissão usual e as respectivas precisões que podem ser alcançadas com o mesmo. Nele observa-se que na banda das baixas frequências (LF – *Low Frequency*) são transmitidos em média 50 bps; na banda das frequências médias (MF – *Medium Frequency*) e altas (HF- *High Frequency*) transmite-se em média 200 bps; e na banda das altas (VHF) e ultra altas (UHF) chega-se a transmitir até 2400 bps. As precisões alcançadas no posicionamento estão relacionadas à taxa de informações transmitidas, a qual, por sua vez, também está relacionada ao tipo de observável empregada no posicionamento (se somente código - taxas menores, ou fase da portadora - altas taxas). Este trabalho enquadra-se na faixa de precisões do posicionamento entre 1 e 3 metros, com uso da banda VHF (emissoras em FM), cujo alcance do sinal é de algumas dezenas de quilômetros.

QUADRO 01- PRECISÃO NO POSICIONAMENTO DGPS E A BANDA DE FREQUÊNCIA DO ENLACE DE COMUNICAÇÃO

DISTÂNCIA	PRECISÃO DESEJADA				
	100 m	10 m	10 - 3 m	3 - 1 m	< 10 cm
1000 km	DGPS não necessário	BANDA-L (INMARSAT) 1200 bps	BANDA-L (INMARSAT)	BANDA-L (INMARSAT)	
< 700 km		BANDA-LF ca. 50 bps			
< 300 km		BANDA-MF (BANDA IIF) 200 bps	BANDA-MF BANDA IIF		
20 - 50 km sinal de linha		BANDA VHF/UHF 2400 bps	BANDA VHF/UHF	BANDA VHF/UHF	BANDA VHF/UHF

FONTE: HEIMBERG<sup>7</sup> citado por FREIBERGER Jr (2002, p. 31)

<sup>7</sup> HEIMBERG, F. *Untersuchungen zum operationellen Einsatz des Differential GPS*. Doktor dissertation, Nr.202, 1994, Institut für Erdmessung, Universität Hannover, Hannover.

Mais informações sobre enlaces de comunicação para DGPS podem ser encontradas em LANGLEY (1993, p.47 a 51).

## 2.2 ELEMENTOS DE DADOS MAIS IMPORTANTES NO DGPS

Os elementos de dados mais importantes a serem transmitidos ao usuário DGPS estão sucintamente descritos a seguir:

- **Correção da pseudodistância (PRC – *Pseudorange Correction*):** é a informação mais importante a ser transmitida. Fornece a correção que deve ser aplicada à observação de pseudodistância num certo instante de tempo (instante no qual as pseudodistâncias foram medidas na estação de referência) para um satélite.
- **Taxa de variação da correção (RRC - *Range Rate Correction*):** informação utilizada para propagar a PRC para um instante de tempo futuro. Visto que a PRC foi gerada num determinado instante de tempo e, devido à latência (ou a outros fatores), a mesma é utilizada pelo receptor usuário num instante de tempo posterior, esta taxa permite o cálculo de correções instantâneas, mesmo com a PRC de um instante passado. Entretanto, para que o cálculo de correções com uma PRC antiga possa ser efetuado, é necessário referenciar estes dois parâmetros (a PRC e a RRC) à época da criação dos mesmos. Isto é realizado por meio da contagem Z-modificada, a qual realiza a contagem dos segundos da hora corrente. A estação usuária pode, dessa forma, calcular as pseudodistâncias para a época na qual necessita utilizá-las. A diferença entre os valores de PRC preditos (calculados com auxílio da RRC) e os transmitidos fica maior quanto maior for a diferença de tempo entre eles, de modo que sua acurácia degrada significativamente para valores mais velhos que 20 segundos



(KOPITZ & MARKS, 1999, p. 194), com a técnica de segurança SA (*Selective Availability* - Disponibilidade Seletiva) ativada. Atualmente, com o SA desativado desde 1º de maio de 2000, a latência pode superar um minuto e contudo os valores da PRC calculados com auxílio da RRC ainda serem válidos.

- **Identificação do Satélite (SATID):** como a informação de correção é diferente para cada satélite e não há garantia de que a constelação de satélites visível na estação de referência seja a mesma na estação usuária, é necessário identificar o satélite cujas correções estejam sendo transmitidas, de modo que o usuário utilize apenas as correções daqueles satélites que ele esteja rastreando.
- **Parâmetros das Efemérides:** as efemérides são um conjunto de parâmetros que descrevem as órbitas dos satélites, e são transmitidas pelos mesmos em seu sinal (mensagens de navegação). A informação das efemérides de cada satélite muda periodicamente (geralmente a cada duas horas). A correção DGPS é baseada nas efemérides operacionais no momento em que ela foi gerada na estação de referência. É necessário informar quais foram elas, porque a correção somente será válida se as mesmas efemérides forem empregadas pelo receptor GPS usuário para calcular sua posição. A versão dos dados de efemérides (IODE - *Issue of Data Ephemeris*) é um dos parâmetros das efemérides que identifica cada conjunto das mesmas, visando a diferenciação de um outro conjunto de parâmetros (efemérides) que era válido num período anterior. O IODE é a chave que assegura que os cálculos no equipamento do usuário e as correções da estação de referência estejam baseados no mesmo conjunto de parâmetros orbitais e do relógio. Detalhes específicos podem ser encontrados em U.S. GOVERNMENT DOCUMENT (1993, p. A-3-23 a A-3-26).

- **Faixa de erro diferencial ao usuário (*User Differential Range Error - UDRE*):** esta informação fornece uma estimativa do desvio padrão da correção e permite ao usuário (receptor DGPS) decidir se aplica ou não as correções de um satélite em particular, ou permite uma ponderação (atribuição de peso) no cálculo de sua posição.

## 2.3 O FORMATO RTCM E SUAS MENSAGENS

Os elementos de dados para o DGPS descritos na seção anterior são formatados num padrão definido pela RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*), para que possam ser “comunicados” à estação usuária de forma unívoca.

Em 1983, a *Radio Technical Commission for Maritime Services* fundou o Comitê Especial 104 com a finalidade de desenvolver recomendações e critérios para a transmissão das correções das pseudodistâncias (atingindo então unicamente os usuários DGPS de código). Estas foram implementadas em 1985 e denominadas de RTCM 1.0, cujo formato tornou-se padrão. Desde 1998, este formato está na versão 2.2, que conta com novos aperfeiçoamentos da versão anterior (versão 2.1) e contempla também outras informações, conforme exposto no quadro 02. As mensagens são separadas em tipos e identificadas através de seus números de reconhecimento variando de 1 a 63. De maneira geral, elas se classificam em: fixas, tentativas ou reservadas.

O formato geral das mensagens diferenciais foi modelado com a mesma estrutura da mensagem de navegação do sistema GPS (RTCM 1998, p.1-1 e 4-2). Entretanto, as mensagens diferenciais utilizam um comprimento variável para o formato, dependente do número de satélites rastreados (RTCM, 1998, p 4-7 e 4-8), enquanto que o formato da mensagem de navegação tem um comprimento fixo. Um quadro de mensagem se constitui de uma mensagem completa, composta por palavras de 30 bits (figuras 03 e 04), sendo que os primeiros 24 bits constituem-se de dados e os

QUADRO 02 – TIPOS DE MENSAGEM RTCM

<b>Tipo de Mensagem</b>	<b>Status Atual</b>	<b>Nome da Mensagem</b>
1	Fixa	Correções Diferenciais GPS
2	Fixa	Correções Diferenciais GPS Delta
3	Fixa	Parâmetros da Estação de Referência GPS
4	Tentativa	Datum da Estação de Referência
5	Fixa	Saúde da Constelação GPS
6	Fixa	Quadro Nulo
7	Fixa	Almanaque dos Radiofaróis - GPS
8	Tentativa	Almanaque das Estações Pseudolite
9	Fixa	Correções Diferenciais de um Conjunto Parcial de Satélites GPS
10	Reservada	Correções Diferenciais para o Código P
11	Reservada	Correções Diferenciais (C/A, L <sub>1</sub> e L <sub>2</sub> )
12	Reservada	Estação Pseudolite
13	Tentativa	Estação de Transmissão
14	Tentativa	Tempo da Semana GPS
15	Tentativa	Atraso Ionosférico
16	Fixa	Mensagem Especial GPS
17	Tentativa	Dados de Efemérides GPS
18	Fixa	Medida Bruta da Fase da Portadora - RTK
19	Fixa	Medida Bruta da Pseudodistância - RTK
20	Tentativa	Correções Diferenciais da Portadora - RTK
21	Tentativa	Correções Diferenciais da Pseudodistância - RTK
22	Tentativa	Parâmetros da Estação de Referência GPS
23 – 30	*****	Indefinida
31	Tentativa	Correções Diferenciais GLONASS
32	Tentativa	Estação de Referência GLONASS
33	Tentativa	Saúde da Constelação GLONASS
34	Tentativa	Correções Diferenciais de um Conjunto Parcial de Satélites GLONASS
35	Tentativa	Almanaque dos Radiofaróis - GLONASS
36	Tentativa	Mensagem Especial GLONASS
37	Tentativa	Tempo GNSS
38 – 58	*****	Indefinida
59	Fixa	Mensagem Própria
60 – 63	Reservada	Uso Multi-Fim

FONTE: RTCM (1998, p. 4-6), V2.2

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

últimos 6 bits são gerados por um algoritmo de paridade<sup>8</sup> para a detecção de erros na transmissão. O início de cada quadro de mensagem consiste de duas palavras-padrão (ou cabeçalho, figura 03) as quais contêm informações com os seguintes campos:

<sup>8</sup> Algoritmos de paridade são algoritmos que geram, a partir dos bits de dados de uma palavra binária, bits extras com o objetivo de verificar se houve erros na transmissão daqueles dados, ou seja, para checar se há igualdade (=paridade) entre os bits de dados transmitidos e os recebidos. O algoritmo de paridade nas palavras RTCM será visto na seção 4.

preâmbulo, identificação do tipo de mensagem enviada, identificação da estação de referência, o tempo de referência da mensagem (contador Z modificado), o número de seqüência do quadro, o comprimento do quadro da mensagem, e a saúde (qualidade) dos dados da estação de referência, além da paridade em cada uma das palavras.

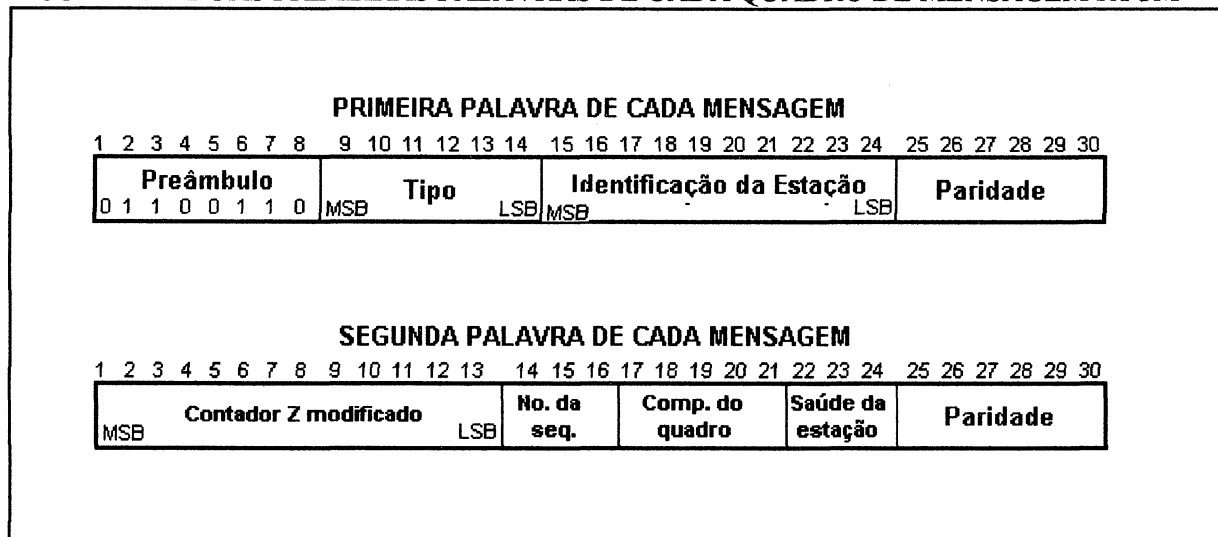
Dado que o número de palavras de um quadro de mensagens diferenciais é conseqüência do número de satélites rastreados, e que os dados de correção de um satélite (40 bits) não são múltiplos de 24 bits - que é o número de dados de uma palavra - logo a disposição dos campos nas palavras de dados são variáveis, com sete diferentes possibilidades, de acordo com a seqüência disposta na figura 04. Caso o número de satélites não seja múltiplo de três, então na última palavra do quadro sobrar espaço sem dados. Neste caso, o espaço é preenchido com uma seqüência alternada de bits 1 e 0 (ver descrição da última palavra na figura 04), de modo que não haja confusão com o preâmbulo. Assim, visto que para cada satélite são necessários 40 bits de dados, e que cada palavra é composta por 24 bits de dados, deduz-se que o número de palavras para os dados deve ser o número inteiro igual ou imediatamente maior (se o quociente da fração não for inteiro) a 40 vezes o número de satélites ( $N_s$ ) dividido por 24. A este número, somam-se as duas palavras correspondentes ao cabeçalho do quadro. Portanto, o número de palavras ( $N_p$ ) de um quadro da mensagem de correções diferenciais GPS pode ser calculado por:

$$N_p = \text{round}\left(\frac{40 * N_s}{24}\right) + 2, \quad (03)$$

sendo que a função *round* fornece o número inteiro igual ou maior ao valor da fração.

Ainda na figura 04, observa-se que na mensagem RTCM tipo 1 há um campo de um bit que indica o fator de escala de cada satélite. Ele é usado para converter os correspondentes valores numéricos da PRC e da RRC em valores de medida (metros e metros por segundo, respectivamente), conforme será visto na seção 4.1 (quadro 08).

FIGURA 03 – DUAS PRIMEIRAS PALAVRAS DE CADA QUADRO DE MENSAGEM RTCM



FONTE: RTCM (1998, p. 4-3)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

Na sequência, apresenta-se uma descrição mais detalhada sobre algumas das mensagens mais importantes no DGPS, citadas no quadro 02.

**Mensagem Tipo 01** - **Correções Diferenciais GPS** - Ela fornece as correções das pseudodistâncias e a sua taxa de variação aos usuários do GPS em um instante  $t$  qualquer, dada pela seguinte equação (RTCM, 1998, p.4-7):

$$PRC(t) = PRC(t_0) + [RRC \cdot (t - t_0)] \quad (04)$$

onde,

$PRC(t)$ : correções das pseudodistâncias no instante  $t$ ;

$PRC(t_0)$ : correções das pseudodistâncias no instante  $t_0$  (no caso, a contagem  $Z$  modificada) ; e

$RRC$ : taxa de variação das correções da pseudodistância.

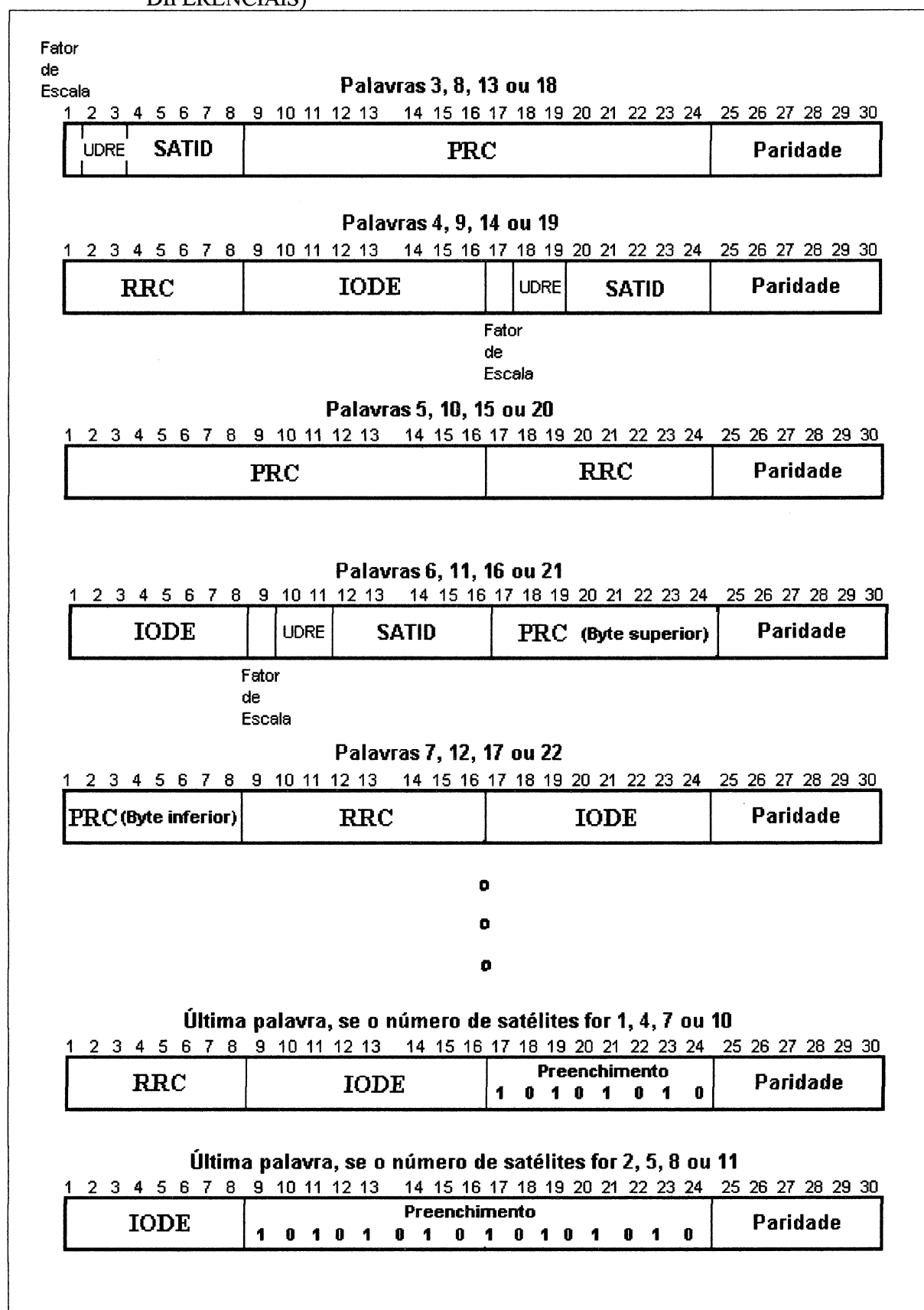
A utilização da  $PRC$  na correção de uma pseudodistância para um instante  $t$  é então dada por:

$$PR(t) = PRM(t) + PRC(t) \quad (05)$$

onde,  $PR(t)$ : é a pseudodistância corrigida em um instante  $t$ ; e

$PRM(t)$ : é a pseudodistância medida em um instante  $t$ .

FIGURA 04 – PALAVRAS DO QUADRO DE MENSAGEM RTCM TIPO 1 (CORREÇÕES DIFERENCIAIS)



FONTE: RTCM (1998, p. 4-8)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

Nessa mensagem encontra-se ainda o *User Differential Range Error* (UDRE) que fornece uma estimativa do desvio padrão da correção das pseudodistâncias na estação de referência, e o IODE (versão dos dados), que assegura que as estações de referência e usuária utilizem o mesmo conjunto de parâmetros orbitais e do relógio.

**Mensagem Tipo 02 - Correções Diferenciais GPS Delta** - Essa mensagem fornece as diferenças de correções das pseudodistâncias ( $\delta PRC$ ) e as diferenças da taxa de variação das correções ( $\delta RRC$ ) causadas pela mudança nos dados de navegação. É fornecida em certas situações onde o conjunto de informações utilizadas pela estação usuária é mais antigo do que o da estação de referência. O sistema na estação usuária consegue detectar esta situação pela comparação do parâmetro IODE contido na mensagem tipo 1 com o IODE contido na mensagem GPS (BRIONES, 1999, p. 35). Segundo KRUEGER (1996, p. 67) o usuário passa a ter as pseudodistâncias calculadas com esses dados antigos de navegação.

Na estação de referência são realizados os dois cálculos das diferenças:

$$\delta PRC = PRC(IODE_{velho}) - PRC(IODE_{novo})$$

$$\delta RRC = RRC(IODE_{velho}) - RRC(IODE_{novo}) \quad (06)$$

**Mensagem Tipo 03 – Parâmetros da Estação de Referência GPS** - Fornece as coordenadas cartesianas da estação de referência num sistema geocêntrico, sendo o WGS-84 o mais recomendado.

Uma vez que, para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessária a “manipulação” na forma binária da mensagem RTCM tipo 1, os detalhes relativos à sua leitura, à sua decodificação e ao seu uso serão apresentados na seção que trata o desenvolvimento do formato para o DGPS por RDS (seção 4).

A descrição das demais mensagens citadas no quadro 02, as quais compõe a versão 2.2 do RTCM, pode ser encontrada no documento RTCM (1998).

### 3 PRINCÍPIOS BÁSICOS DO RDS - *RADIO DATA SYSTEM*

#### 3.1 DESCRIÇÃO GERAL

O RDS, especificado desde 1990, foi desenvolvido como um padrão para a transmissão de dados digitais de qualquer natureza utilizando a modulação da subportadora (ou canal secundário)<sup>1</sup> do sinal de radiodifusão de estações em FM. A especificação internacional atual é: *CENELEC, EN 50067: 1998 – Specifications of the radio data system (RDS) for VHF/FM sound broadcasting in the frequency range from 87,5 to 108,0 MHz*. A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) traduziu e adaptou esta norma para o Brasil, denominando-a: **Especificação Técnica para a Radiotransmissão de Dados Mediante Utilização do Canal Secundário de Emissora de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada – RDS**. Ela foi colocada em consulta pública, como proposta, para sugestões, modificações e melhorias, durante o período de 05 de novembro a 02 de dezembro de 2002, e será oficialmente publicada provavelmente no primeiro semestre de 2003.

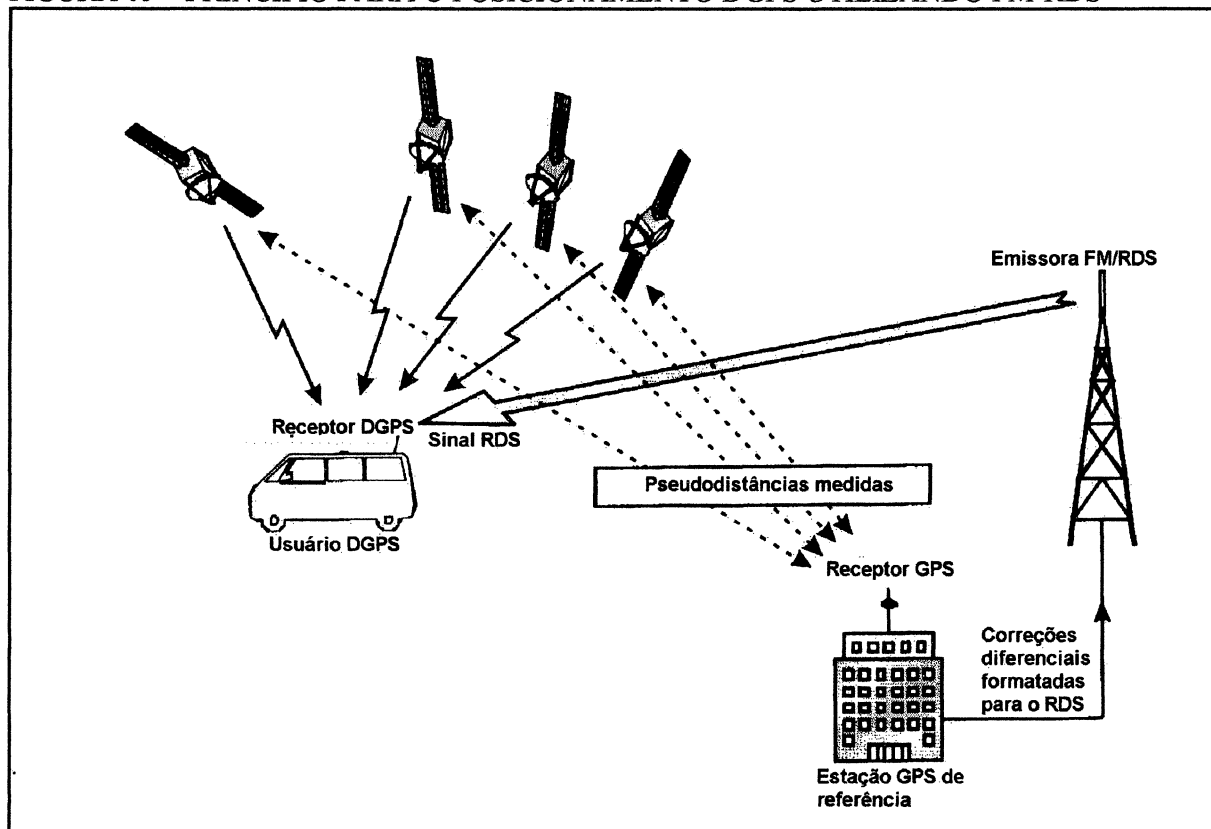
O RDS foi inicialmente concebido para prover serviços adicionais a usuários pela utilização de uma nova geração de receptores de rádio “inteligentes”. Estes receptores podem realizar algumas operações em seu funcionamento de modo automático, pela utilização das informações providas pelo sistema. O RDS vem sendo muito utilizado ultimamente nos Estados Unidos e na Europa, inclusive para a transmissão de correções diferenciais para o posicionamento DGPS. O princípio para a transmissão destas correções por uma emissora em FM com o RDS pode ser observado na figura 05.

---

<sup>1</sup> Portadora, redução do termo “onda portadora”. É um sinal elétrico de natureza senoidal (onda senoidal), o qual pode “carregar” (portar) informações, pela modulação do mesmo. A subportadora é uma onda portadora secundária, com frequência deslocada em relação à frequência da portadora principal.



FIGURA 05 – PRINCÍPIO PARA O POSICIONAMENTO DGPS UTILIZANDO FM-RDS



FONTE: KOPITZ &amp; MARKS (1999, p. 191)

NOTA: Traduzido pelo autor.

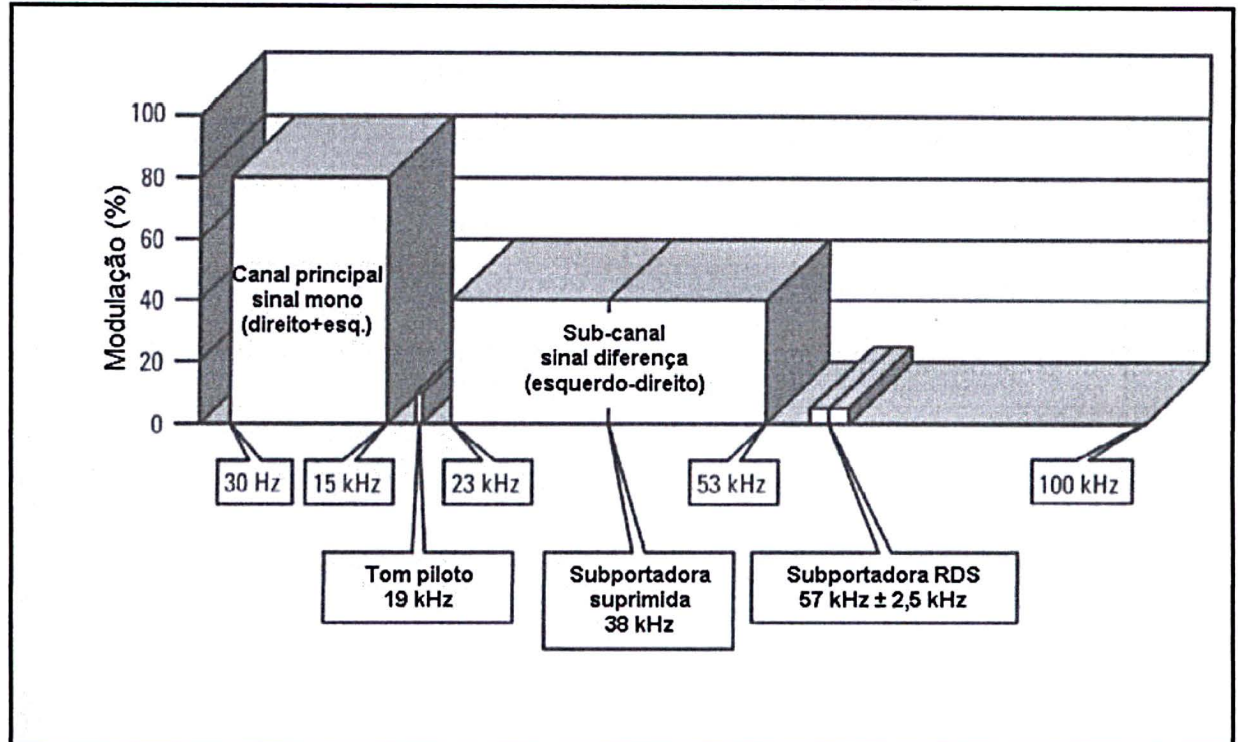
Os dados do RDS são transmitidos sincronamente (sem espaços de separação entre os grupos ou blocos), a uma taxa de 1.187,5 bits por segundo (o tom piloto<sup>2</sup> - 19 kHz - dividido por 16), modulados em amplitude com banda lateral dupla e portadora suprimida<sup>3</sup>, centrado em 57 kHz (3 vezes o tom piloto de 19 kHz) (KOPITZ & MARKS, 1999, p. 28 a 30), conforme observa-se na figura 06. Ela mostra o espectro de radiodifusão em FM estéreo com RDS, com a banda de 100 kHz (eixo das abscissas) disponível para a emissora. Nela observa-se o sinal de áudio monofônico (30 Hz a 15 kHz), o sinal de áudio estereofônico (23 a 53 kHz), e, a 57 kHz deslocados da portadora principal (origem do eixo), observa-se a subportadora RDS ocupando uma pequena faixa do espectro da emissora. Pelo RDS, são transmitidos em média 11,4 grupos por segundo, com cada grupo consistindo de 4 blocos de 16 bits de dados (palavra de informação) e 10 bits para correção de erro

<sup>2</sup> Tom piloto: sinal de referência usado para sincronizar o processo de modulação e demodulação na transmissão e recepção, respectivamente, dos sinais de radiodifusão em FM.

<sup>3</sup> Tipo de modulação onde a onda portadora não é transmitida.

(palavra de verificação), conforme se observa na figura 07. O sistema prevê 16 diferentes grupos de dados ou aplicações, com cada grupo sendo formado por duas versões (A e B) para as diversas aplicações, conforme pode-se observar no quadro 03<sup>4</sup>.

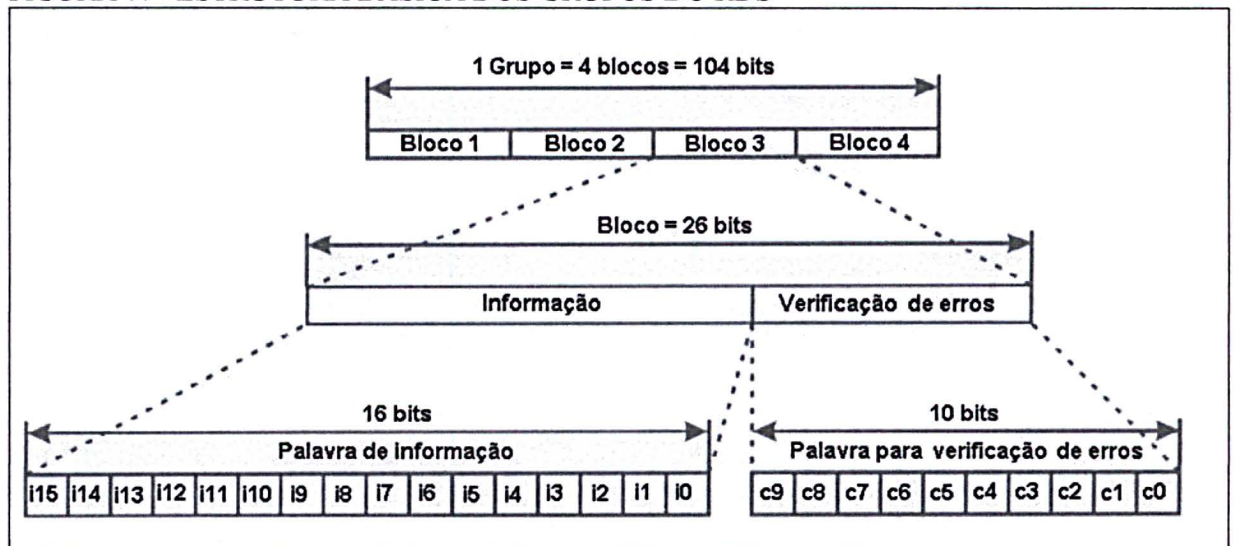
FIGURA 06- ESPECTRO DE RADIODIFUSÃO FM ESTÉREO COM RDS



FONTE: KOPITZ & MARKS (1999, p. 29)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

FIGURA 07- ESTRUTURA BÁSICA DOS GRUPOS DO RDS



FONTE: ANATEL (2002, p. 6)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

<sup>4</sup> As siglas utilizadas nesta tabela serão descritas na próxima seção.

QUADRO 03 - GRUPOS RDS E SEU USO

<b>Grupo</b>	<b>Utilização</b>
0A	Informações para sintonia básica e comutação de frequência
0B	Informações para sintonia básica e comutação de frequência
1A	Número de Identificação do Programa Transmitido e identificador de Aplicação
1B	Número de Identificação do Programa Transmitido
2A	Radiotexto (RT)
2B	Radiotexto (RT)
3A	Identificação de aplicações abertas de dados (AID)
3B	Aplicações abertas de dados (ODA)
4A	Data e Hora (CT)
4B	Aplicações abertas de dados (ODA)
5A	Canal transparente de dados (TDC) ou ODA
5B	Canal transparente de dados (TDC) ou ODA
6A	Aplicações internas (IH) ou ODA
6B	Aplicações internas (IH) ou ODA
7A	Futuras Aplicações
7B	Aplicações abertas de dados (ODA)
8A	Mensagens de trânsito (TMC) ou ODA
8B	Aplicações abertas de dados (ODA)
9A	Sinais de alerta de emergência (EWS) ou ODA
9B	Aplicações abertas de dados (ODA)
10A	Nome do tipo de Programação (PTY)
10B	Aplicações abertas de dados (ODA)
11A	Aplicações abertas de dados (ODA)
11B	Aplicações abertas de dados (ODA)
12A	Aplicações abertas de dados (ODA)
12B	Aplicações abertas de dados (ODA)
13A	Futuras Aplicações
13B	Aplicações abertas de dados (ODA)
14A	Utilização de funções de outras emissoras (EON)
14B	Utilização de funções de outras emissoras (EON)
15A	Não especificado
15B	Informações para sintonia básica e comutação rápida

FONTE: ANATEL (2002, p. 10 e 11)

NOTA: Transcrito pelo autor.

Como se percebe, o RDS permite diversas aplicações. Há muitas siglas relacionadas ao mesmo. Para que o leitor tenha um conhecimento dos termos e das expressões utilizadas no seu contexto, fez-se uma descrição geral das definições e dos símbolos estabelecidos para o mesmo. Apenas aqueles relacionados ao DGPS serão aqui descritos. Os demais encontram-se no anexo 4, para que o tema deste trabalho não seja demasiadamente desviado.

- Aplicações Abertas de Dados (ODA - *Open Data Applications*)

São quaisquer aplicações diversas daquelas previamente especificadas, ou seja, é a utilização de grupos abertos para aplicações particulares e não previamente especificadas, que permitem a transmissão de dados, através do RDS, para receptores dedicados. Os dados podem ser transportados em diversos grupos, conforme indicado no quadro 03. Dentre suas aplicações, cita-se o DGPS, utilizando-se tipicamente o grupo 5A ou 11A para esta finalidade. Para este trabalho (DGPSBRDS) optou-se por utilizar o grupo 11A. Poderia ser utilizado qualquer outro grupo para ODA, entretanto.

- Identificador da Emissora (PI - *Programme Identification*)

É um código atribuído a cada emissora individualmente ou a cada grupo de emissoras inter-relacionadas e que habilita o receptor a identificá-la(s). A identificação não é mostrada diretamente no visor do receptor.

- Nome da Emissora (PS - *Programme Service name*)

É uma aplicação que mostra no visor de um receptor dotado do RDS a informação do nome da emissora em que está sintonizado, substituindo a frequência da estação que aparece nos receptores convencionais. Esta aplicação não é utilizada para busca automática de sintonia.

- Tipo de Programação (PTY - *Programme TYpe*)

É uma aplicação que identifica até 31 diferentes tipos de programação transmitida (por ex.: notícias, esportes, educação, novela, música popular, Rock, meteorologia, religião, viagem, música folclórica, documentário, entre outros.), indicada no visor do receptor, podendo ser utilizada para busca de sintonia. Esta aplicação poderá, também, habilitar o receptor a acionar seu gravador para gravar apenas os tipos de programação selecionados. A emissora poderá alterar o PTY de acordo com o tipo de programa transmitido.

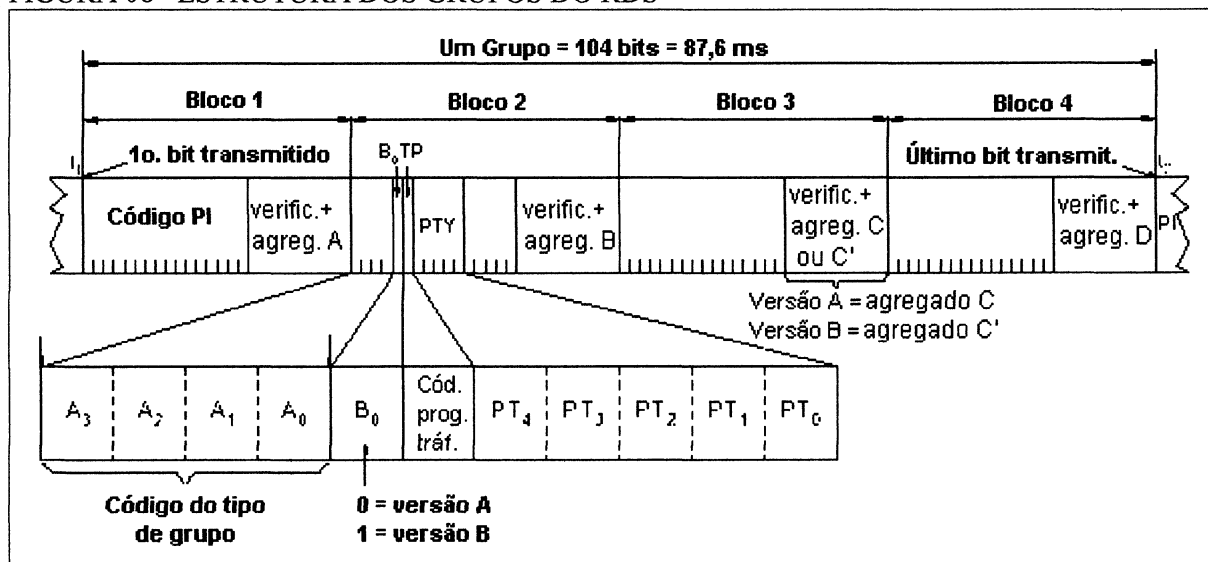
### 3.2 ESTRUTURA DOS GRUPOS RDS

Conforme foi visto na seção 3.1 (figura 07), cada grupo RDS é formado por 4 blocos, e cada bloco por uma palavra de informação (16 bits) e uma palavra de verificação (10 bits). Na figura 08 pode-se visualizar a estrutura principal de todos os grupos do RDS. No campo de informações do bloco 1 de cada grupo (16 bits) sempre é transmitido o código de identificação da emissora (PI).

Os quatro primeiros bits do bloco 2 identificarão o tipo do grupo, dentre os 16 listados no quadro 03. O quinto bit identificará a versão (se A ou B). O indicador TP corresponde ao código de identificação de programa de trânsito. O PTY identifica, dentre um conjunto de 31 classificações, conforme visto na seção anterior, o tipo de programa que está sendo transmitido.

Os demais campos de informação são preenchidos de acordo com as especificações do RDS para cada uma das aplicações listadas no quadro 03. Os campos contendo os bits de verificação somados aos bits de agregamento serão descritos na próxima seção.

FIGURA 08– ESTRUTURA DOS GRUPOS DO RDS



FONTE: CENELEC (1998, p. 13)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

### 3.3 SINCRONIZAÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA ERROS

Na figura 07 observou-se que cada bloco de um grupo do RDS é dividido em duas partes: uma para informação (16 bits) e outra para verificação de erros (10 bits). A esta forma, onde os bits de informação na palavra-código são "polarizados" de um lado e os de verificação noutro, denomina-se codificação na forma sistemática. Os 10 bits de verificação que se seguem a cada 16 bits de dados têm o propósito primário de permitir ao receptor/decodificador RDS a detecção e correção de erros que ocorrem na transmissão. De acordo com CENELEC (1998), a palavra de verificação (bits  $c_0$  a  $c_9$  da figura 07), para detecção e correção de erros, é implementada por um código cíclico modificado, sendo gerada da seguinte forma:

- a) a palavra de informação de 16 bits é multiplicada<sup>5</sup> por  $x^{10}$ ;
- b) o produto anterior é dividido pelo polinômio gerador  $g(x) = x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^3 + 1$ ;
- c) ao resto da divisão anterior é adicionada (módulo-2)<sup>6</sup> uma palavra agregada, a qual é distinta para cada bloco dentro de um grupo (figura 08, agreg. A, B, C, C' e D). Elas são mostradas no quadro 04.

QUADRO 04 – VALORES BINÁRIOS DAS PALAVRAS AGREGADAS

Palavras agregadas	Valor Binário									
	$d_9$	$d_8$	$d_7$	$d_6$	$d_5$	$d_4$	$d_3$	$d_2$	$d_1$	$d_0$
<b>A</b>	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
<b>B</b>	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
<b>C</b>	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
<b>C'</b>	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
<b>D</b>	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0

FONTE: CENELEC (1998, p. 59)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

<sup>5</sup> A palavra binária pode ser escrita na forma de polinômio. Por ex., tendo-se a seguinte palavra de 16 bits: '0100110111000101', sua forma polinomial é escrita como:  $0 \cdot x^{15} + 1 \cdot x^{14} + 0 \cdot x^{13} + 0 \cdot x^{12} + 1 \cdot x^{11} + 1 \cdot x^{10} + 0 \cdot x^9 + 1 \cdot x^8 + 1 \cdot x^7 + 1 \cdot x^6 + 0 \cdot x^5 + 0 \cdot x^4 + 0 \cdot x^3 + 1 \cdot x^2 + 0 \cdot x^1 + 1 \cdot x^0 = x^{14} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^6 + x^2 + 1$ .

<sup>6</sup> Soma módulo-2: é a operação de soma binária, também conhecida por operação lógica XOR (OU-exclusivo), onde:  $0+0=0$ ;  $0+1=1$ ;  $1+0=1$  e  $1+1=0$ .

A adição da palavra agregada tem a função de permitir ao decodificador RDS a sincronização do sistema, ou seja, para que, da sequência contínua de bits que vem chegando, ele possa encontrar a delimitação dos grupos e blocos dentro da mesma. A adição desta palavra é uma operação reversível no decodificador e, deste modo, as propriedades do cálculo da palavra de verificação não são afetadas.

O código de detecção e correção de erros supra descrito tem as seguintes características (ANATEL, 2002, p.8):

- Detecta todos os erros de um e de dois bits dentro de um bloco;
- Detecta qualquer erro de um bit numa sequência de 10 bits ou menos;
- Detecta aproximadamente 99,8% de erros que ocorrem em sequências de 11 bits;
- Corrige sequências de até 5 bits.

O fato de o RDS possuir um esquema próprio de detecção e correção de erros facilita a compactação dos dados do formato RTCM, uma vez que os bits de paridade deste podem ser “eliminados”, conforme será visto na seção 4.2.

Mais detalhes sobre o código detector/corretor de erros e de sincronização estão descritos em CENELEC (1998, p. 60 a 68). Os fundamentos de Teoria da Informação e Codificação e da Codificação para o Controle de Erros podem ser encontrados em ABRAMSON (1963), BLAHUT (1983) e em LIN & COSTELLO (1983).

A implementação do RDS para o DGPS será descrita na seção 4.

## 4. DESENVOLVIMENTO DO FORMATO PARA O DGPS POR RDS

Neste capítulo apresentam-se diversas informações utilizadas no desenvolvimento do DGPS Brasileiro por RDS. Será abordada a decodificação e interpretação da mensagem RTCM tipo 1; a compactação dos dados RTCM e a adaptação para o RDS; o protocolo UECP e, finalmente, os programas codificadores e decodificadores desenvolvidos para o sistema DGPSBRDS.

### 4.1 DECODIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DA MENSAGEM RTCM TIPO 1

Na seção 2.3 foi visto o formato RTCM, suas versões e suas mensagens. Nesta seção apresenta-se a decodificação e interpretação dos códigos da mensagem RTCM tipo 1, ou seja, como são extraídas as informações da correção diferencial (e as outras) contidas na sua seqüência binária. Na literatura não se encontra uma descrição detalhada de como deve ser efetuada esta decodificação. Mesmo no artigo de LANGLEY (1994, p. 48) que trata do formato RTCM para DGPS, onde ele mostra um exemplo da mensagem tipo 1 na forma binária e seu valor decodificado (figura 2 da pág. 51 do artigo), não é exposto como é realizada a extração e a decodificação/interpretação dos dados. Assim, buscou-se, paralelamente ao estudo das respectivas informações contidas em RTCM (1998), os conhecimentos e as ferramentas da eletrônica e da informática, para que a lógica do processo pudesse ser investigada e compreendida, visando obter um algoritmo para a decodificação. Observou-se também que muitas pessoas da comunidade científica ainda desconhecem o processo de decodificação que aqui será exposto, embora seus equipamentos façam uso do mesmo em seus levantamentos DGPS.

Para a investigação, utilizou-se o receptor geodésico ASCHTECH Z-XII, pertencente ao Laboratório de Geodésia Espacial – LAGE, do Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra da UFPR. Ele foi instalado num ponto e configurado para gerar e fornecer continuamente a mensagem RTCM tipo 1 por uma de suas portas seriais. Em um microcomputador, através de um programa para leitura



de porta serial, desenvolvido na linguagem QuickBasic<sup>1</sup>, efetuou-se a leitura e o armazenamento dos dados em arquivo. A sequência de caracteres mostrada no quadro 05 é uma amostra destes dados colhidos.

QUADRO 05– AMOSTRA DE MENSAGEM RTCM TIPO 1 NO FORMATO ASCII

```
Y~}_CtOnDvg} qC@@JJz@jvoIhCx_u\~Ozzo|Fq_s@D_[IPhbjjj[
fAB`YtO`Dng} qf uu` @jvolW|G`o\~Oz_PC@yk_s@a`dvorbjjj~
Y~}_CtOiDxg} qC@@JJz@j~oUhCx_PcApE`o|FT@`L^_[A`J]UUUA
fAB`|KP[{MXB@N| uuE UA`qW|G`JcBpE o|Fq_s@D_[APtbjjj~
Y~}_CtomDAXB@N| uuE UA`qW|G`JcBpE o|Fq_s@D_[N` }bjjj~
Y~}_Ct_bDwg} qC@@JJz@jqoGhCx_u|Ozlo|ff_s@a`dyo`bjjj[
fAB`Yt_kDag} II@@JJz@jq_hCx_Pc@pEvo|fC@`L{'dyoE]UUUA
fAB`|K`X{YXB@vv uuE UN`cW|G`o|OzHPC@Y|_s@D_[J`C]UUUA
fAB`|K@Q{mg} II@@JJz@jqoGhCx_u||Ozmo|ff_s@a`duoB]UUUA
fAB`|K@^{ g} II uu` @jq_yW|G`JCCpERPC@YY@`L^_[JP}bjjj~
Y~}_CL@hDlg} II@@JJz@jqoGhCx_u||Ozmo|ff_s@a`du_Y]UUUd
```

FONTE: O autor

Observa-se que a leitura dos dados RTCM pela porta serial é realizada como uma sequência de caracteres no formato ASCII<sup>2</sup> estendido, ou seja, cada caractere corresponde a um byte (8 bits). Uma vez que os dados são “empacotados” em bytes de oito bits, sua interpretação é determinada pela combinação entre o padrão definido pela RTCM e as regras para a ordem na composição de bytes.

O padrão de byte para sistemas que trabalham com 8 bits assinala que o primeiro bit de dados enviado é o bit menos significativo (LSB – *Least Significant Bit*), e o oitavo bit como o mais significativo (MSB – *Most Significant Bit*) (RTCM, 1998, p. 5-2), e a maioria das interfaces de comunicação serial segue esta convenção. Isto gera um problema, uma vez que o formato RTCM utiliza o inverso, ou seja, a ordem de significância dos bits é do MSB para o LSB, conforme se observa na figura 03 da seção 2.3. Assim, há a necessidade daquela interface de comunicação realizar o rotacionamento dos bits de um byte, antes de deixar o equipamento da estação de

<sup>1</sup> Os programas desenvolvidos pelo autor foram na linguagem QuickBasic por ser aquela que ele melhor domina.

<sup>2</sup> ASCII – *American Standard Code for Information Interchange* – Código binário para texto, comunicação e controle de impressão, formado pela combinação de 7 bits. O ASCII estendido é composto de 8 bits. O mesmo pode ser encontrado em diversos livros de informática. O autor utilizou-se de NORTON et al. (1993, p. 610 e 611). No anexo 1 apresenta-se o conjunto padrão destes caracteres ASCII e seus correspondentes códigos.

referência, e novamente logo após “entrar” no receptor GPS (estação usuária), de modo que o primeiro bit seja o último da sequência e vice-versa (LSB  $\leftrightarrow$  MSB).

Outro detalhe importante é que, desses 8 bits de um byte, no RTCM, somente 6 são usados para a codificação, ou seja, os bits  $d_1$  a  $d_6$  são bits de dados, e os bits  $d_7$  e  $d_8$  são fixados como marca (1) e espaço<sup>3</sup> (0), respectivamente (RTCM, 1998, p. 5-2). A sequência genérica apresentada a seguir esclarece o conteúdo de um byte ASCII/RTCM fornecido por um receptor GPS, e a passagem do mesmo do formato ASCII para o RTCM visando a extração da informação (decodificação):

1 caractere ASCII/RTCM lido pela porta serial = 1 byte = 8bits (MSB ... LSB)  
 = 0 1  $d_6 d_5 d_4 d_3 d_2 d_1$  (observar que o primeiro bit é o  $d_1$  (LSB));

Rotacionando-se para satisfazer a ordem do RTCM, tem-se:  $d_1 d_2 d_3 d_4 d_5 d_6$   
 1 0;

Extraindo-se somente os 6 bits de dados (exclusão dos bits de preenchimento  $d_7=1$  e  $d_8=0$ ), tem-se  $d_1 d_2 d_3 d_4 d_5 d_6$  (MSB...LSB) como sendo seis bits de dados de uma palavra RTCM.

Conforme foi visto na seção 2.3, cada palavra RTCM é formada por 24 bits de dados+6 bits de paridade=30 bits (fig. 3 e 4). Como cada caractere ASCII lido da porta serial corresponde a 6 bits de dados RTCM, então cada 5 caracteres (30 bits/palavra, 6 bits/caractere) formarão uma palavra RTCM. A título de exemplo, tomando-se os 5 primeiros caracteres ASCII do quadro 06, obtendo seus respectivos códigos binários (de uma tabela de códigos ASCII), invertendo sua ordem (significância) e extraíndo-se os 6 bits de dados (byte de dados = bd), tem-se:

Y = 89 $d^4$  = 59 $h$  = 01011001 $b$   $\Rightarrow$  10011010  $\rightarrow$  bd1 = 100110  
 ~ = 126 $d$  = 7E $h$  = 01111110 $b$   $\Rightarrow$  01111110  $\rightarrow$  bd2 = 011111  
 } = 125 $d$  = 7D $h$  = 01111101 $b$   $\Rightarrow$  10111110  $\rightarrow$  bd3 = 101111  
 \_ = 95 $d$  = 5F $h$  = 01011111 $b$   $\Rightarrow$  11111010  $\rightarrow$  bd4 = 111110

<sup>3</sup> Os termos *marca* e *espaço* são utilizados na comunicação digital para designar respectivamente o bit 1 (ou nível lógico alto) e o bit 0 (ou nível lógico baixo).

<sup>4</sup> O símbolo (letra) em itálico após o valor do código indica a sua base:  $d$  indica base decimal (10 códigos: 0 a 9);  $b$  indica base binária (2 códigos: 0 e 1); e  $h$  base hexadecimal (16 códigos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E e F).

$$C = 67d = 43h = \text{01000011}b \Rightarrow \text{11000010} \rightarrow bd5 = \text{110000}$$

Concatenando-se a seqüência de bytes de dados bd1 a bd5, formar-se-á uma palavra da mensagem (palavra de código) de um quadro RTCM (neste caso, corresponde à primeira palavra):

$$\text{Palavra RTCM} = \text{10011001111110111111110110000}^5$$

Como já foi visto, os 6 últimos bits da palavra (em azul) são bits de paridade.

Para verificar se houve erro na transmissão dos dados, a RTCM define um algoritmo para a detecção de erros. Este algoritmo é idêntico àquele utilizado para decodificar os dados transmitidos pelo GPS (RTCM, 1998, p.5-3), e é mostrado no quadro 06 e figura 09. Neles observa-se que os bits de paridade ( $D_{25}$  a  $D_{30}$ ) são calculados por meio de uma combinação entre os bits de dados fonte ( $d_1$  a  $d_{24}$ ). Percebe-se ainda que, quando o último bit da palavra anterior ( $D_{30}^*$ ) for 1, os bits de dados transmitidos são invertidos (complemento binário), pela soma módulo dois ( $d_1 \oplus D_{30}^* \dots d_{24} \oplus D_{30}^* \Rightarrow D_1 \dots D_{24}$ )<sup>6</sup>. Isto pode se observar na prática no quadro 05, onde a primeira letra de cada linha (nele cada linha corresponde a um quadro RTCM) deveria ser sempre a mesma, uma vez que a informação contida na mesma não foi alterada. Mas, ora ela vem como 'Y', ora como 'f'. Comparando-se o código binário (tabela ASCII) dos caracteres 'f' e 'Y', tem-se:

$$Y = 89d = 59h = \text{01 011001} b;$$

$$f = 102d = 66h = \text{01 100110} b.$$

Pode-se observar que os 6 bits de dados (em verde) são invertidos. O fato de ocorrer esta inversão foi um dos vários fatores que geraram dificuldades no entendimento do processo de decodificação.

<sup>5</sup> Na realidade, os bits desta palavra especificamente, são todos invertidos (não confundir inversão dos bits (inversão de 1 com 0 e vice-versa) com inversão da seqüência de bits (significância)). Adiante será visto o porquê.

<sup>6</sup> Na soma módulo-2 observa-se qualquer que seja o valor do bit (0 ou 1) somado ( $\oplus$ ) ao bit 1 terá como resultado o valor daquele invertido (seu complemento binário), ou seja,  $0 \oplus 1 = 1$  e  $1 \oplus 1 = 0$ .



QUADRO 06 – EQUAÇÕES DE CODIFICAÇÃO DA PARIDADE

$$D_1 = d_1 \oplus D_{30}^*$$

$$D_2 = d_2 \oplus D_{30}^*$$

$$D_3 = d_3 \oplus D_{30}^*$$

$$\bullet \quad \bullet$$

$$\bullet \quad \bullet$$

$$\bullet \quad \bullet$$

$$\bullet \quad \bullet$$

$$D_{24} = d_{24} \oplus D_{30}^*$$

$$D_{25} = D_{29}^* \oplus d_1 \oplus d_2 \oplus d_3 \oplus d_5 \oplus d_6 \oplus d_{10} \oplus d_{11} \oplus d_{12} \oplus d_{13} \oplus d_{14} \oplus d_{17} \oplus d_{18} \oplus d_{20} \oplus d_{23}$$

$$D_{26} = D_{30}^* \oplus d_2 \oplus d_3 \oplus d_4 \oplus d_6 \oplus d_7 \oplus d_{11} \oplus d_{12} \oplus d_{13} \oplus d_{14} \oplus d_{15} \oplus d_{18} \oplus d_{19} \oplus d_{21} \oplus d_{24}$$

$$D_{27} = D_{29}^* \oplus d_1 \oplus d_3 \oplus d_4 \oplus d_5 \oplus d_7 \oplus d_8 \oplus d_{12} \oplus d_{13} \oplus d_{14} \oplus d_{15} \oplus d_{16} \oplus d_{19} \oplus d_{20} \oplus d_{22}$$

$$D_{28} = D_{30}^* \oplus d_2 \oplus d_4 \oplus d_5 \oplus d_6 \oplus d_8 \oplus d_9 \oplus d_{13} \oplus d_{14} \oplus d_{15} \oplus d_{16} \oplus d_{17} \oplus d_{20} \oplus d_{21} \oplus d_{23}$$

$$D_{29} = D_{30}^* \oplus d_1 \oplus d_3 \oplus d_5 \oplus d_6 \oplus d_7 \oplus d_9 \oplus d_{10} \oplus d_{14} \oplus d_{15} \oplus d_{16} \oplus d_{17} \oplus d_{18} \oplus d_{21} \oplus d_{22} \oplus d_{24}$$

$$D_{30} = D_{29}^* \oplus d_3 \oplus d_5 \oplus d_6 \oplus d_8 \oplus d_9 \oplus d_{10} \oplus d_{11} \oplus d_{13} \oplus d_{15} \oplus d_{19} \oplus d_{22} \oplus d_{23} \oplus d_{24}$$

Onde:

$d_1, d_2, \dots, d_{24}$  são os bits de dados fonte ;

o símbolo  $\star$  é usado para identificar os 2 últimos bits da palavra anterior ;

$D_{25}, D_{26}, \dots, D_{30}$  são os bits de paridade calculados ;

$D_1, D_2, \dots, D_{29}, D_{30}$  são os bits transmitidos ;

$\oplus$  é a operação de soma 'módulo-2' ou 'ou exclusivo'.

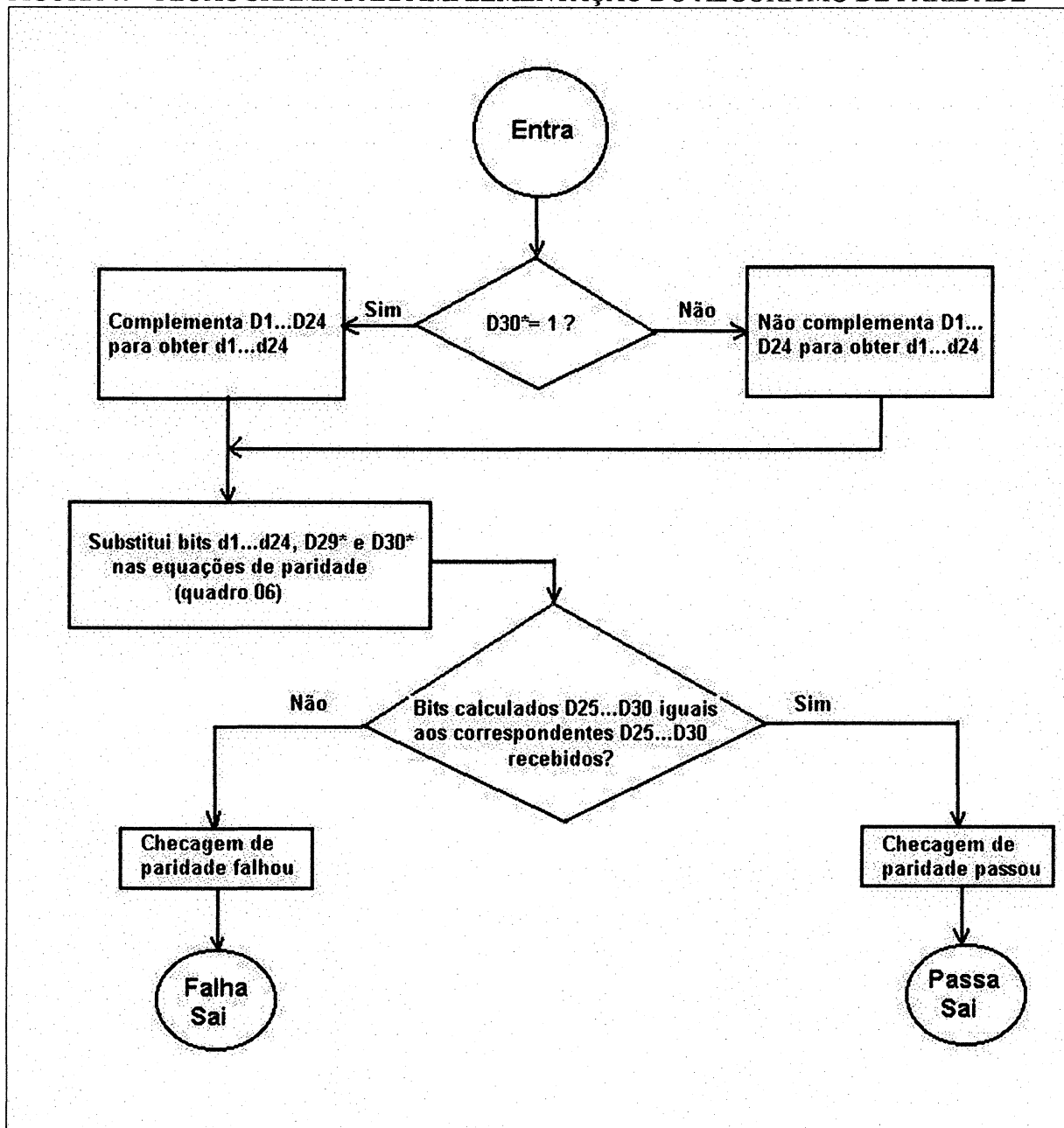
FONTE: ICD-GPS-200C (1993, p. 136)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

Na figura 09, que mostra o fluxograma que é utilizado para a implementação do algoritmo de paridade, observa-se que, se os bits de paridade ( $D_{25}$  a  $D_{30}$ ) calculados (recodificação com os bits de dados fonte recebidos) forem iguais aos recebidos, então a mensagem de correção diferencial é válida (aceita). Caso contrário, ela será rejeitada

pelo receptor GPS. De acordo com RTCM (1998, p. 3-12), este algoritmo é capaz de detectar até dois bits errados numa palavra.

FIGURA 09– FLUXOGRAMA PARA IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO DE PARIDADE



FONTE: ICD-GPS-200C (1993, p. 137)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

Uma vez compreendido o processo de decodificação da mensagem RTCM, é necessário então interpretar a informação contida nos campos da sua sequência binária. Fazendo-se novamente alusão à figura 03 da seção 2.3, uma descrição da interpretação

de cada um dos campos contidos naquelas palavras (no formato RTCM) será realizada a seguir.

#### a) Primeira Palavra

Na primeira palavra de cada mensagem, têm-se três campos de informação. O primeiro é o preâmbulo, onde 8 bits de código identificam o sistema. Tratando-se de mensagens relativas ao GPS, o mesmo contém o código convencionalizado 01100110. Aqui pode se entender por que, no exemplo de decodificação da palavra que foi vista anteriormente, ela deve ter todos os seus bits invertidos (ver nota de rodapé 4). Nele, os primeiros 8 bits da 1ª. palavra (ou seja, o preâmbulo) continham o seguinte: 10011001. Observa-se que esta sequência tem seus bits invertidos em relação ao preâmbulo convencionalizado para o GPS (01100110). No exemplo não havia como saber o bit D30 da palavra anterior (bit que comanda a inversão dos bits da palavra seguinte), uma vez que se tratava da primeira palavra do primeiro quadro. Assim, na decodificação, quando se recebe a primeira palavra do quadro, o único modo de saber se os bits de código estão com inversão ou não é verificando-se o preâmbulo. Ou seja, quando a 1ª. palavra do quadro iniciar com o caractere ASCII 'f' (ver quadro 05), não há inversão. Quando iniciar com 'Y', há inversão, conforme se viu.

O segundo campo da primeira palavra contém o tipo de mensagem, com 6 bits codificando um dos 63 valores possíveis, conforme o quadro 02 da seção 2.3; e o terceiro campo é composto por 10 bits que identificam o número da estação de referência, com valores de 0 a 1023. O último campo sempre será o da paridade, com 6 bits.

#### b) Segunda Palavra

Na segunda palavra, há quatro campos de informação (figura 03, seção 2.3). O primeiro fornece a contagem Z modificada, por 13 bits cujo valor decimal correspondente é multiplicado por 0,6 s. São obtidos valores para esta contagem na faixa de 0 a 3599,4 segundos, correspondendo ao número de segundos da hora GPS

corrente. O número de sequência do quadro, variando de 0 a 7, está indicado no segundo campo por 3 bits de código. O terceiro campo (5 bits) informa o comprimento do quadro em palavras, com valores de 0 a 31. A saúde da estação de referência está indicada no quarto campo, por um código de 3 bits, de acordo com o quadro 07. O fator de escala indicado neste campo deve ser multiplicado pelo valor da faixa de erro diferencial para o usuário - UDRE, de acordo com o quadro 09, para que seja obtida a faixa estimada do erro diferencial. Conforme foi visto na seção 2.2, o UDRE fornece uma estimativa do desvio-padrão da correção. Ele é estimado pela estação de referência, e combina os efeitos estimados do multicaminho, razão sinal/ruído (SNR - *Signal to Noise Ratio*), entre outros (RTCM, 1998, p. 4-7).

QUADRO 07 – INDICADOR DO ESTADO DE SAÚDE DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA

Código	Indicação
111	Estação de referência desativada
110	Transmissão da estação de referência não monitorada
101	Fator de escala UDRE= 0,1
100	Fator de escala UDRE= 0,2
011	Fator de escala UDRE= 0,3
010	Fator de escala UDRE= 0,5
001	Fator de escala UDRE= 0,75
000	Fator de escala UDRE= 1

FONTE: RTCM (1998, p. 4-4)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

### c) Terceira Palavra e demais

Na mensagem RTCM tipo 1, a partir da terceira palavra, tem-se os dados relativos às correções diferenciais para cada um dos satélites rastreados, conforme observou-se na figura 04 da seção 2.3. Nela percebe-se que o número de bits necessários para os dados relativos a 1 satélite não é múltiplo de uma palavra (24 bits de dados + 6 de paridade). São necessários 40 bits de dados para cada satélite (mais os de paridade), dispostos em 6 campos. O número de palavras pode ser calculado pela equação 02 (seção 2.3). O primeiro campo, de um bit de código, define o fator de

escala, conforme o quadro 08. Composto por um código de dois bits, tem-se o segundo campo, o qual fornece o UDRE, de acordo com o quadro 09. A informação de identificação do satélite ao qual se referem os dados está contida no terceiro campo. Ele é composto por um código de 5 bits, podendo assim indicar valores de 0 a 32.

O quarto campo da mensagem tipo 1, para um satélite, é composto por 16 bits que fornecem a correção da pseudodistância. Os valores podem estar entre  $\pm 655,34$  m, quando o fator de escala for  $0,02 \text{ m}^7$ , ou entre  $\pm 10.485,44$  m quando o fator de escala for  $0,32 \text{ m}$ . Cabe observar que o código contido neste campo é uma representação com sinal por complemento de dois. Na prática, isto significa que, quando o primeiro bit (MSB) deste campo for 0, o restante dos bits indicam um valor positivo (através da conversão binária para a decimal normal). E quando aquele bit for 1, indica valor negativo. Então, para se obter seu valor, antes da conversão para decimal, inverte-se todos os bits e soma-se  $1^8$ . Este valor, negativo, é o valor decimal.

QUADRO 08 – FATOR DE ESCALA PARA A PRC E A RRC

Código	Indicação
0	Fator de escala para a correção da pseudodistância é $0,02 \text{ m}$ Fator de escala para a taxa de variação da correção da pseudodistância é $0,002 \text{ m/s}$
1	Fator de escala para a correção da pseudodistância é $0,32 \text{ m}$ Fator de escala para a taxa de variação da correção da pseudodistância é $0,032 \text{ m/s}$

FONTE: RTCM (1998, p. 4-10)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

QUADRO 09 – FAIXA DE ERRO DIFERENCIAL PARA O USUÁRIO (UDRE)

Código	Erro diferencial (um sigma)
00	$\leq 1 \text{ metro}$
01	$> 1 \text{ metro e } \leq 4 \text{ metros}$
10	$> 4 \text{ metros e } \leq 8 \text{ metros}$
11	$> 8 \text{ metros}$

FONTE: RTCM (1998, p. 4-10)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

<sup>7</sup> Deve-se lembrar que o correspondente valor decimal deve ser multiplicado pelo fator de escala para se obter o valor da correção em metros.

<sup>8</sup> Esta é uma forma prática de se obter o complemento de dois de um valor binário visando obter-se o correspondente valor decimal negativo: inverte-se todos os bits de dados, converte-se para decimal (positivo), e soma-se 1 a este valor positivo. Ao resultado dá-se o sinal negativo. Outra forma é complementar os bits (inverter) após o primeiro bit 1, da direita (LSB) para a esquerda (MSB).



Exemplificando, suponha-se que foi decodificado para a PRC o seguinte: 1111110011001010. Como o primeiro bit é 1, o valor será negativo, portanto tem-se que fazer o complemento de dois antes de calculá-lo: 0000001100110110. Calculando-se o valor decimal correspondente aos 15 bits restantes de dados:  $0*2^{14}+0*2^{13}+0*2^{12}+0*2^{11}+0*2^{10}+1*2^9+1*2^8+0*2^7+0*2^6+1*2^5+1*2^4+0*2^3+1*2^2+1*2^1+0*2^0 = 0+0+0+0+0+512+256+0+0+32+16+0+4+2+0=822$ . Como foi visto, este valor terá sinal negativo. Ele deve ser multiplicado pelo fator de escala (quadro 08), para se obter o valor da PRC em metros. Supondo-se que o fator de escala seja 0,02 m, então o correspondente valor da PRC será  $(-822)*0,02 \text{ m} = -16,44 \text{ m}$ .

O quinto campo da mensagem, que contém 8 bits, fornece a taxa de variação da pseudodistância (RRC). Ela pode ter valores entre  $\pm 0,254 \text{ m/s}$  quando o fator de escala for 0,002 m/s, e entre  $\pm 4,064 \text{ m/s}$  quando o fator de escala for 0,032 m/s. Como a RRC pode ter valores negativos ou positivos, sua decodificação/interpretação segue o mesmo princípio descrito anteriormente para a PRC.

No sexto e último campo da mensagem tipo 1 para um satélite, tem-se, por 8 bits de código, a indicação do número relativo à época de emissão dos dados de efemérides.

Para realizar todo o processo que foi descrito nesta seção, desenvolveu-se um programa original em linguagem QuickBasic, denominado DECRTCM. Ele permite que se leia as mensagens RTCM diretamente de um receptor GPS, por uma porta serial, ou de um arquivo pré-gravado. O programa decodifica e interpreta a mensagem e permite que se imprima na tela, e/ou que se grave num arquivo, tanto as informações no formato binário decodificado, quanto dos dados interpretados (valores numéricos). A listagem do código fonte do programa DECRTCM se encontra no apêndice 1. Nele também encontra-se um trecho de mensagem diferencial RTCM lido pelo programa e a correspondente saída gerada, devidamente decodificada e interpretada. Trata-se de um exemplo que poderá auxiliar o leitor que deseje exercitar manualmente e compreender a decodificação/interpretação das mensagens diferenciais RTCM.

O programa DECRTCM é parte de outro programa mais completo, o qual realiza a compactação e codificação para o RDS. Ele será abordado na próxima seção.

## 4.2 COMPACTAÇÃO DOS DADOS RTCM E ADAPTAÇÃO PARA O RDS

Na seção 3.1 foi visto que o RDS transmite dados a uma taxa bruta de 1.187,5 bps. Entretanto, destes, apenas 673,7 bps são para informações, e o restante é utilizado para a correção de erros e o endereçamento (KOPITZ & MARKS, 1999, p. 277). Estes 673,7 bps ainda devem ser divididos para as diversas aplicações (grupos), conforme listado no quadro 03 (seção 3.1). Como se percebe, o RDS tem uma capacidade para a transmissão de dados bastante limitada. Logo, há a necessidade de otimização em seu uso para a transmissão de informações. A sua grande vantagem, entretanto, é que o mesmo se utiliza de uma estrutura de transmissão (das emissoras de rádio) já existente e, portanto, a implementação de tal sistema necessita de um investimento relativamente pequeno<sup>9</sup>. Outra vantagem, intrínseca aos transmissores das emissoras é que, por suas antenas serem fixas e bem posicionadas, ou seja, projetadas de modo que sua radiovisibilidade seja a melhor possível (seção 2.1.1, equação 01), seu alcance em geral é maior do que aquele que seria obtido com um sistema operando em VHF de forma convencional, onde a potência irradiada é menor e a posição (localização e altura) da antena podem ser menos favoráveis a uma boa radiovisibilidade.

É possível compactar a quantidade de dados enviados para transmitir a informação da mensagem diferencial. Considerando que se fará a transmissão somente da mensagem RTCM tipo 1 e analisando-se as informações contidas num quadro da mesma, visando a sua adaptação ao RDS, verifica-se que:

- O RDS provê um esquema próprio de detecção e de correção de erros (seção 3.4), teoricamente mais robusto que o esquema de verificação (ou detecção) do RTCM, uma vez que o primeiro usa uma relação de bits de verificação/bits de dados maior, ou seja, a relação 6/24 do RTCM contra

---

<sup>9</sup> Basicamente, o investimento necessário é a aquisição do(s) codificador(es)/modulador(es) RDS, ao custo aproximado de US\$ 1.500,00 cada; uma estrutura de comunicação (linha telefônica privada e modem, por ex.) entre a(s) estação(ões) GPS de referência e o(s) transmissor(es) da(s) emissora(s), e um microcomputador para processar as informações (codificação) e/ou gerenciar o sistema.

10/16 do RDS<sup>10</sup>. Assim, pode-se remover os dados de paridade das palavras de mensagem diferencial. Isto significa que, de cada 30 bits, 6 podem ser removidos, causando uma redução para  $24/30=0,8$  da quantidade dos dados, ou seja, uma redução de 20 %;

- Uma vez que se sabe que as informações de correção diferencial transmitidas são relativas ao GPS, os 8 bits do preâmbulo na primeira palavra também podem ser removidos<sup>11</sup>;
- Se for transmitida somente a mensagem tipo 1, os 6 bits que identificam a mensagem (1ª. palavra) também não precisam ser transmitidos. Se fossem transmitidas as mensagens tipo 1 e tipo 2, por exemplo, bastaria que fosse transmitido apenas 1 bit para a identificação;
- O número de seqüência do quadro, contido no 2º campo da 2ª palavra, pode ser removido (3 bits), já que ele não fornece informação importante (serve apenas para sincronização do quadro) e pode ser incluído na recepção (arbitrariamente inicializado e, posteriormente, constantemente atualizado);
- A informação do comprimento do quadro (em palavras), contido no 3º campo da 2ª. palavra, também pode ser recomposta na recepção (calculado pela equação 02, seção 2.3), economizando-se 5 bits na transmissão;
- Dos campos de informação que restaram, ainda é possível otimizar: as informações de correção da pseudodistância (PRC), a taxa de variação desta correção (RRC) e a contagem Z modificada. Se forem transmitidas apenas as variações (diferenças) dos valores deles desde um instante passado, o número de bits necessários é menor do que aquele para

---

<sup>10</sup> Esta é uma comparação apenas qualitativa, e não quantitativa. Para comparar a eficiência real dos dois algoritmos de verificação de erro, análises mais complexas e aprofundadas têm que ser feitas.

<sup>11</sup> Naturalmente que o equipamento do usuário que fará a decodificação RDS=>RTCM deverá reconstruir estes dados, para que o mesmo forneça as correções diferenciais ao receptor GPS no formato RTCM de modo transparente. Todos estes procedimentos serão vistos na seqüência e foram implementados nos programas codificadores e decodificadores desenvolvidos pelo autor para os testes práticos.

transmitir as mesmas informações na forma absoluta<sup>12</sup>. A contagem Z modificada (contida no 1º campo da 2ª palavra), ao invés de contar os segundos da hora corrente, necessitando de 13 bits, pode realizar a contagem do minuto corrente, sendo então necessários  $2^n * 0,6s \geq 59,6s$  ( $n=n^\circ$ . de bits), ou seja, resulta que  $n=7$  bits, uma redução de 6 bits. Doravante chama-se esta forma como contagem Z modificada reduzida ou CZMR. A RRC, por sua vez, pode ser calculada como o quociente entre as variações dos valores da PRC no respectivo intervalo de tempo desta variação.

Quando se transmite informações de diferenças, deve-se levar em consideração a necessidade de inicialização do decodificador RDS/RTCM, no lado do usuário, ou seja, quando o mesmo ligar seu equipamento e ele começar a receber o sinal transmitido, ele necessitará dos valores de referência (valores completos ou absolutos). Se ele não tiver conhecimento destes valores de referência, de nada adiantarão as informações das diferenças. Logo as informações que são transmitidas na forma de diferenças devem ser intercaladas, a intervalos regulares, com a informação na forma absoluta. Desta forma o usuário não tem que esperar um tempo muito grande para a inicialização de seu equipamento visando o fornecimento das correções diferenciais ao receptor GPS. Ainda, no caso de se utilizar a contagem Z modificada reduzida, o decodificador RDS/RTCM deve possuir a informação do tempo GPS. Ela deve ter uma acurácia melhor que algumas unidades de segundo, para que ele possa calcular a correspondente contagem Z modificada sem ambigüidade (certeza para o valor do minuto) a partir da informação da contagem Z modificada reduzida. Tecnicamente isto não é um problema, uma vez que o decodificador deve ser constituído por um circuito eletrônico microprocessado (podendo ser um microcomputador) ou microcontrolado, onde uma das suas funções é a contagem do

---

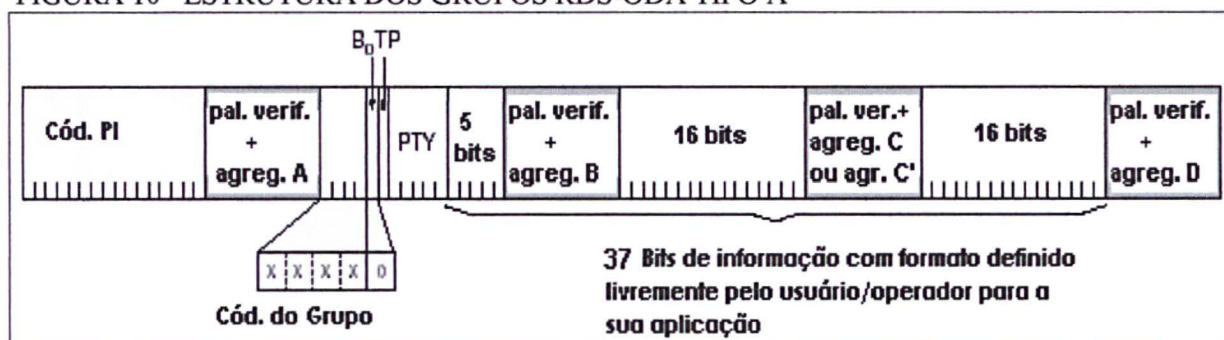
<sup>12</sup> O princípio da transmissão de informações na forma de diferenças é muito usado na codificação de fonia (voz) em sistemas de telefonia, aplicações em multimídia, dentre outros, nos quais se utiliza a técnica de codificação diferencial denominada DPCM (*Differential Pulse Code Modulation* - Modulação por código de pulso diferencial) e suas variantes. Em alguns casos, o mesmo princípio também é usado na codificação compactada de imagens. A vantagem em se utilizar codificação diferencial está na menor quantidade de dados necessários para transmitir ou armazenar as informações. Mais detalhes podem ser encontrados em SAYOOD (2000, p. 309-335).

tempo. É necessário fornecer-lhe um instante-referência do tempo GPS para a inicialização, e que se inspecione periodicamente para que o erro se mantenha o menor possível. Uma possibilidade seria o próprio receptor GPS fornecer o tempo periodicamente ao sistema<sup>13</sup>.

Considerando-se o exposto anteriormente e o RDS, buscar-se-á, na sequência, verificar as opções que esse sistema oferece para a transmissão destes dados.

No quadro 03 da seção 3.1 observou-se que o RDS disponibiliza grupos ODA para aplicações abertas, ou seja, definidas pelo usuário. Cada grupo ODA tipo B permite 21 bits utilizáveis (para informações), enquanto que cada grupo ODA tipo A permite 37 bits utilizáveis (KOPITZ & MARKS, 1999, p. 184-185). Neste trabalho será utilizado um destes grupos do tipo A. Na figura 10 mostra-se a estrutura dos grupos RDS-ODA tipo A. Nela percebe-se os 37 bits (5+16+16) para informações, disponíveis ao usuário para implementar sua aplicação. O formato é definido livremente pelo usuário.

FIGURA 10– ESTRUTURA DOS GRUPOS RDS-ODA TIPO A



FONTE: CENELEC (1998, p. 20)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

Faz-se necessário que o uso de um grupo ODA seja sinalizado pelo grupo 3A ao decodificador RDS. No quarto bloco desse grupo deve ser inserido o número correspondente à identificação da aplicação (AID – *Application Identification*) ODA. Para implementar aplicações definitivas, a AID deve ser previamente registrada no

<sup>13</sup> Deve-se observar que o tempo GPS (e portanto também o MZC - *Modified Z-Count* - Contador Z modificado) corresponde ao UTC (*Coordinated Universal Time*), o tempo civil, adicionado ao salto de segundos (*leap second*) da época em questão. Em dezembro de 2002, o valor do *leap second* era de 13 segundos (USNO, 2002). Na sentença de informação NMEA-GGA, fornecida pelos receptores GPS, a mesma fornece, no campo da hora, o UTC.

escritório de registros RDS da União Européia de Radiodifusão (*European Broadcasting Union* – EBU), situada em Genebra, na Suíça. O pedido deste registro é efetuado por meio do preenchimento de um formulário, o qual é encaminhado a este órgão, junto com uma taxa de quinhentos Francos Suíços<sup>14</sup>. Em havendo conformidade, será retornado ao requisitante um número, o qual identificará a aplicação requerida para a ODA (CENELEC, 1998, p.87-88). Neste trabalho, com o uso do RDS-ODA por um período temporário, não foi necessário efetuar a requisição e o registro de uma AID para ele.

A quantidade de grupos ODA por segundo que podem ser utilizados vai depender de quantos grupos estiverem sendo empregados para as outras aplicações. Na Alemanha, utilizam-se em média 1,5 grupos ODA por segundo (57 bps) para o DGPS (LINDSTROT, 1998, p. 191). Neste trabalho pretende-se transmitir um grupo a cada 0,6 segundo (correspondendo a uma média de 1,67 grupos ODA por segundo), ou seja, a cada novo incremento do contador Z modificado<sup>15</sup>.

Sabendo-se que cada grupo ODA tipo A comporta 37 bits, buscou-se então inserir as informações de correções diferenciais no mesmo, de acordo com as possibilidades de compactação da mensagem RTCM tipo 1, para a transmissão pelo RDS, conforme foram descritas anteriormente.

Enumerando-se as informações que necessitam ser transmitidas e os bits necessários a cada uma delas, tem-se:

- UDRE= 2 bits;
- Identificação do satélite (SatId)= 5 bits;
- PRC= 16 bits;
- RRC = 8 bits;
- IODE= 8 bits; e
- CZMR= 7 bits.

---

<sup>14</sup> Um Franco Suíço correspondia a aproximadamente US\$ 0,70 ou a R\$ 2,00 na data de 18.07.2002.

<sup>15</sup> O contador Z modificado reduzido (CZMR), utilizado neste trabalho, é derivado do MZC, ou seja, a cada MZC corresponderá um CZMR. Assim, a cada incremento do MZC, gerou-se o correspondente CZMR, para a transmissão de um grupo RDS-ODA.

Elas totalizam 46 bits. Para a transmissão por RDS-ODA tipo A (37 bits), faz-se necessária a redução de mais 9 bits. Buscando-se uma solução otimizada<sup>16</sup>, e que seja “adaptável” ao RDS, realizou-se uma análise da faixa de variação da PRC, bem como de seu valor absoluto. De acordo com CAMARGO (1999, p. 102), o atraso ionosférico máximo na vertical ocorre em torno das 14:00 horas locais, ou seja, é o horário no qual os efeitos da ionosfera têm sua maior amplitude como fonte de erro no posicionamento GPS. Efetuou-se então um rastreo durante este período, mais especificamente, entre as 13:25h e as 14:35h (hora local de Curitiba), visando a avaliação dos valores da correção da pseudodistância - PRC (e sua variação) numa situação supostamente extrema. O receptor (Ashtech Z-XII) foi configurado para rastrear com máscara de elevação nula, de modo a captar também os satélites com baixa elevação (abaixo de 10 graus). Nas figuras 11A, 11B e 11C pode-se verificar os valores da correção da pseudodistância durante aquele período, os respectivos valores da relação sinal/ruído - S/N (*Signal/Noise*) e do ângulo de elevação em relação ao horizonte do ponto rastreado, para cada satélite. Observa-se que os valores da PRC não ultrapassaram a centena de metros. Nestas figuras percebe-se também um aumento exponencial dos valores da PRC quando o respectivo satélite tem elevação inferior a 10 ou 15 graus em (PRN<sup>17</sup> 4 da figura 11A, PRN 10 e 13 da figura 11B e PRN 27 da figura 11C). Para estes mesmos satélites (4, 10, 13 e 27) observa-se ainda a degradação da razão sinal/ruído proporcionalmente às diminuições de suas elevações. Estes fatos justificam também a necessidade da utilização de máscaras de elevação de 10 ou 15 graus quando se realizam levantamentos com o GPS, visando diminuir os efeitos devido à atmosfera (troposfera e ionosfera) e da baixa qualidade do sinal (devido à sua baixa intensidade) captado pelo receptor nessas condições. Na figura 12 são mostrados os valores típicos para a correção da pseudodistância, obtidos noutro rastreo onde todos os satélites estavam acima de 15 graus de elevação.

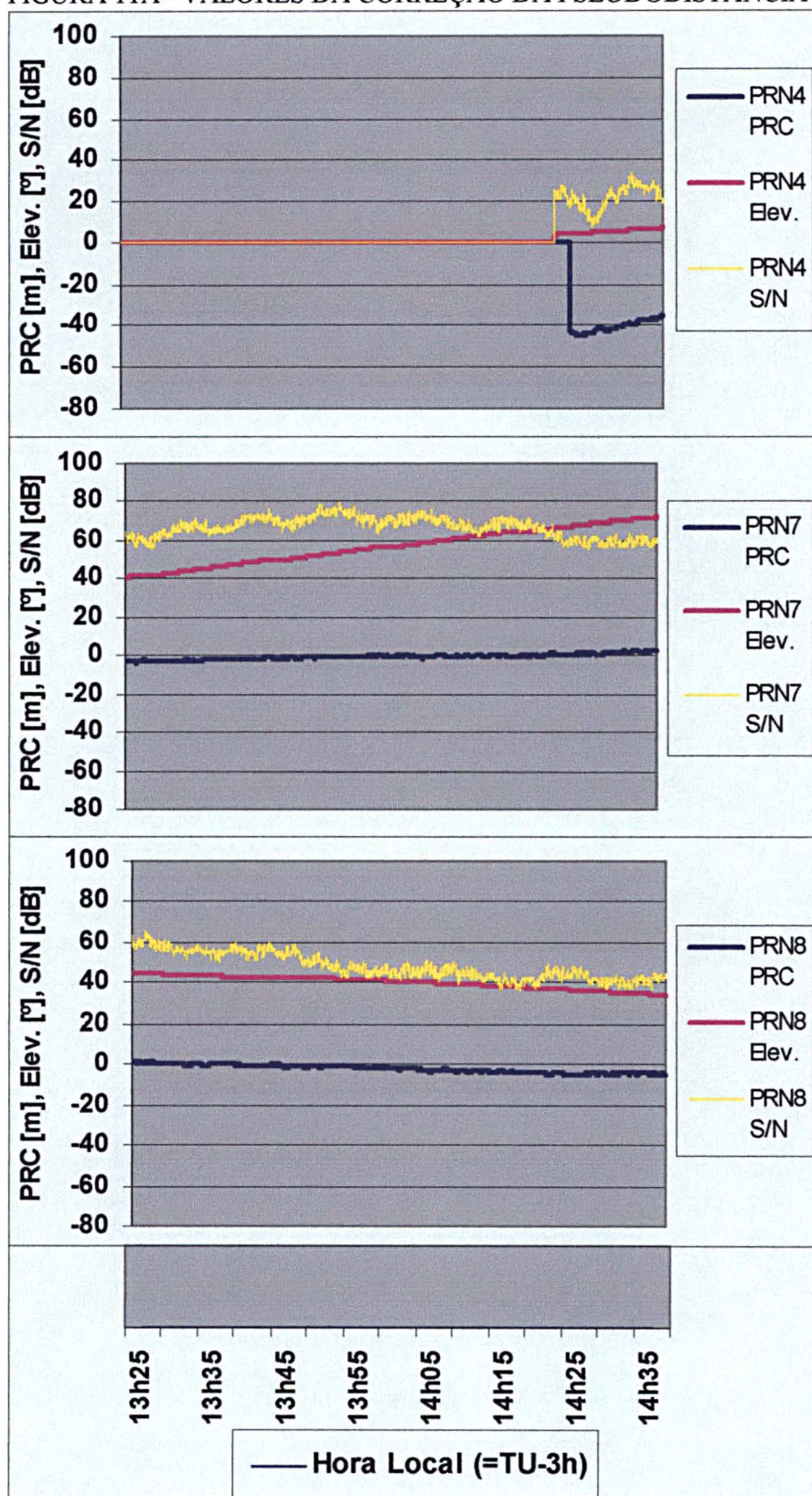
---

<sup>16</sup> Nessa otimização, o autor preocupou-se também em encontrar uma solução que permitisse a “comunicação” das informações necessárias ao usuário DGPS com a latência mais baixa possível e sem que o mesmo necessitasse de um tempo muito grande para a inicialização do receptor/decodificador RDS-RTCM.

<sup>17</sup> PRN - *Pseudo-Random Noise* (ruído falsamente aleatório). É um código que identifica qual o satélite GPS que está transmitindo.



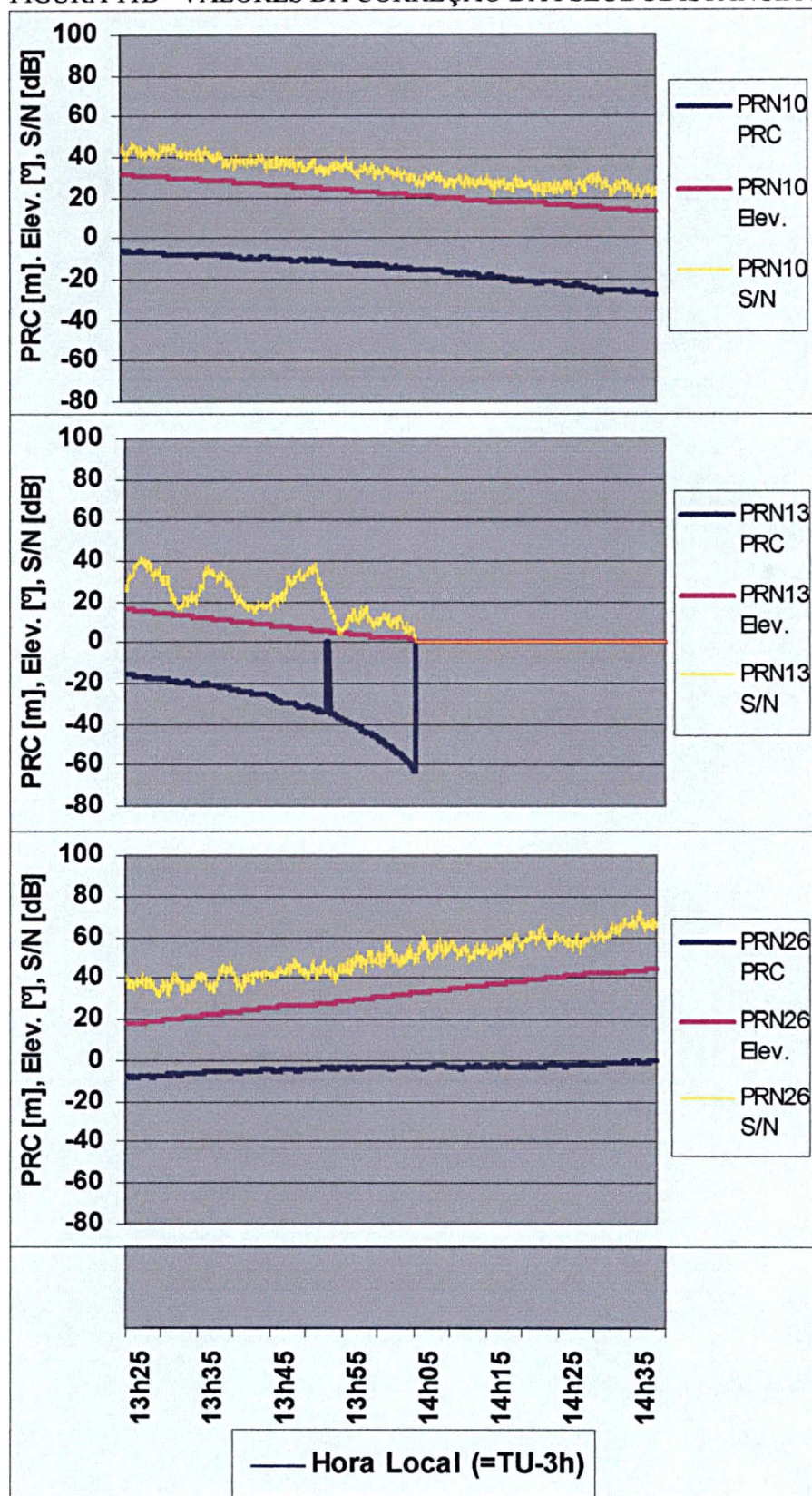
FIGURA 11A- VALORES DA CORREÇÃO DA PSEUDODISTÂNCIA-PRC



FONTE: O autor



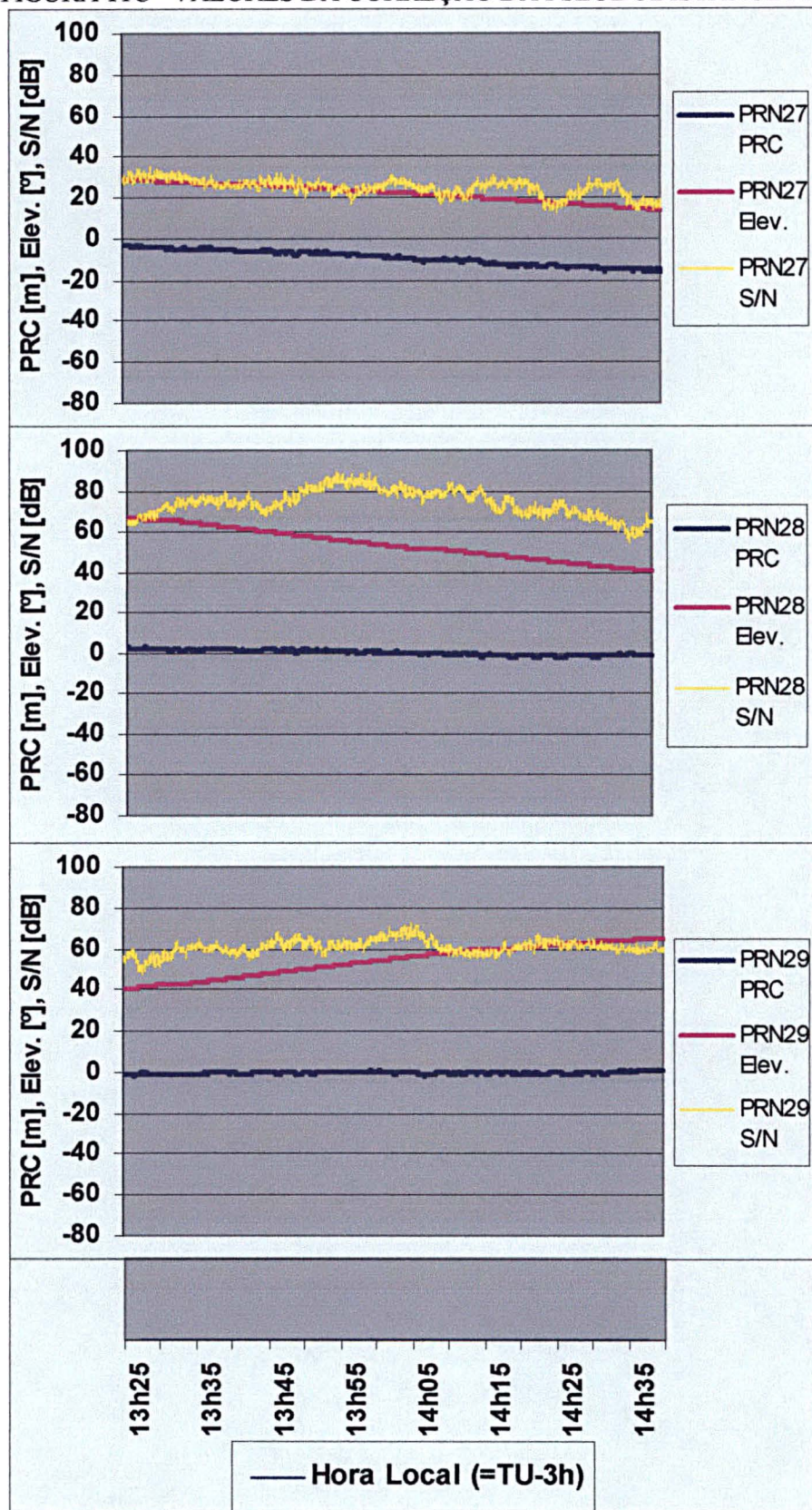
FIGURA 11B- VALORES DA CORREÇÃO DA PSEUDODISTÂNCIA-PRC



FONTE: O autor



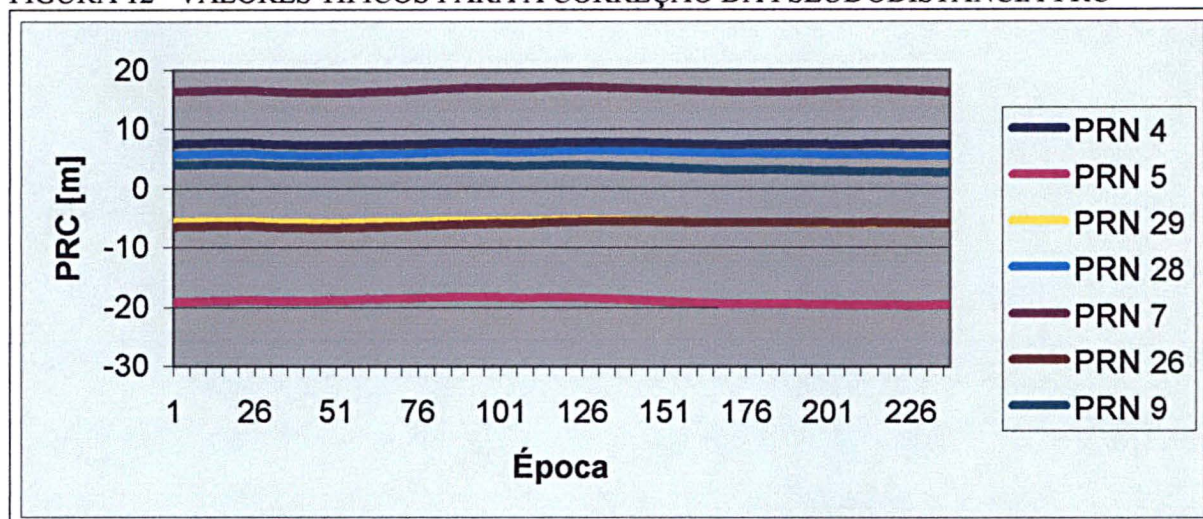
FIGURA 11C- VALORES DA CORREÇÃO DA PSEUDODISTÂNCIA-PRC



FONTE: O autor



FIGURA 12– VALORES TÍPICOS PARA A CORREÇÃO DA PSEUDODISTÂNCIA-PRC



FONTE: O autor

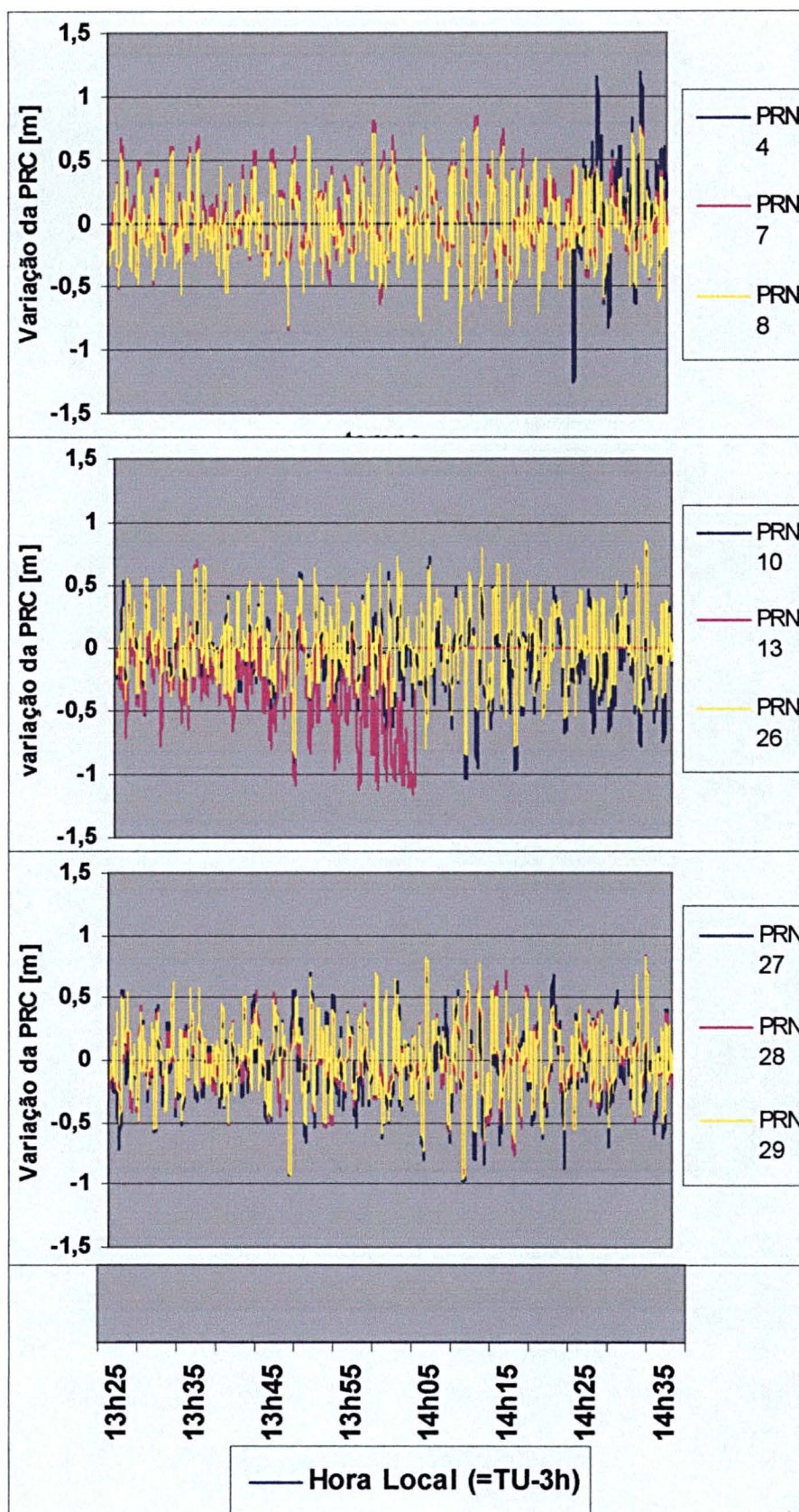
De forma geral, observa-se que quando a elevação do satélite for superior a 10 graus os valores da PRC se situam entre  $\pm 30$  m, possibilitando concluir-se que o número de bits para a PRC poderia ser, portanto, reduzido para os quadros de referência.

Para a análise da variação da correção da pseudodistância, simulou-se, com os dados do levantamento anteriormente visto (figuras 11 A, B e C), uma condição extrema, quando se teria a geração/transmissão das correções diferenciais para 12 satélites<sup>18</sup>. Nesta condição e o intervalo entre uma transmissão da PRC para determinado satélite e a sua transmissão consecutiva é de  $12 \cdot 2 \cdot 0,6 \text{ s} = 14,4 \text{ s}$ . Na figura 13 mostram-se os valores calculados. Observa-se que a variação da PRC num intervalo de 14,4 segundos é, em geral, inferior a 1 metro. A exceção se dá quando a elevação do satélite estiver abaixo de 10 graus, como é o caso dos satélites 4, 10 e 13 (comparar a elevação deles nas figuras 11 A, B e C e a correspondente variação da PRC na figura 13).

<sup>18</sup> Embora na figura 12 apareçam valores para 9 satélites rastreados, simulou-se, com as PRC's destes, a variação delas para a condição extrema na qual estariam sendo rastreados 12 satélites, ou seja, cujo período de repetição seria de 14,4 segundos. Quando há menos satélites sendo rastreados, este período de repetição, dado por  $2 \cdot n^\circ$  de satélites rastreados  $\cdot 0,6 \text{ s}$  (esta equação será vista adiante), diminui proporcionalmente, e também os valores da variação da correção da pseudodistância, para este período.



FIGURA 13 – VALORES DA VARIAÇÃO DA CORREÇÃO DA PSEUDODISTÂNCIA A INTERVALOS DE 14,4 SEGUNDOS



FONTE: O autor

Cabe ressaltar que a RRC ainda pode ser calculada na recepção (lado do usuário), não necessitando ser transmitida.

Com base nestes subsídios, o autor elaborou um formato otimizado para a transmissão das correções pelo RDS: optou por realizar a transmissão de quadros de referência intercalados com quadros diferenciais (um quadro de referência seguido por um quadro diferencial, conforme se observa no quadro 11, seção 4.4.1). Desta forma apresenta-se a proposta de solução descrita na sequência:

- Quadro referência, contendo os seguintes campos:
  1. Identificação de que é um quadro de referência: 1 bit;
  2. Fator de escala para o PRC e RRC: 1 bit;
  3. UDRE: 2 bits;
  4. Identificação do satélite cujas informações estão sendo transmitidas neste quadro: 5 bits;
  5. IODE: 8 bits;
  6. CZMR: 7 bits;
  7. PRC: 13 bits.

Total do quadro referência = 37 bits= 1 grupo ODA tipo A.

- Quadro diferencial, contendo os seguintes campos:
  1. Identificação de que é um quadro diferencial: 1 bit;
  2. Identificação do satélite cujas informações estão sendo transmitidas no próximo campo: 5 bits;
  3. Variação da PRC desde a última transmissão num quadro referência, para o próximo satélite rastreado: 7 bits;
  4. Identificação do satélite cujas informações estão sendo transmitidas no próximo campo: 5 bits;
  5. Variação da PRC desde a última transmissão num quadro referência, para o próximo satélite rastreado: 7 bits;
  6. Identificação do satélite cujas informações estão sendo transmitidas no próximo campo: 5 bits;

7. Variação da PRC desde a última transmissão num quadro referência, para o próximo satélite rastreado: 7 bits.

Total do quadro diferencial = 37 bits = 1 grupo ODA tipo A.

Para o anteriormente proposto cabe esclarecer alguns detalhes. A contagem Z modificada reduzida (CZMR) é transmitida somente no quadro referência. Para o quadro diferencial, ela é calculada, sendo o valor do quadro referência somado a 0,6 segundos. A PRC foi reduzida de 16 para 13 bits, de forma que coubesse num grupo RDS-ODA (37 bits). Desta forma reduziu-se assim o valor máximo possível dela de  $\pm 10485,44$  m para  $\pm (2^{12} * 0,32 \text{ m} - 0,32 \text{ m}) = \pm 1310,40^{19}$  m. Conforme as observações feitas anteriormente (figuras 11 A, B e C e 12), não deverá haver nenhum problema de sub dimensionamento com esta redução.

Para o quadro diferencial, necessita-se de uma tabela contendo os satélites que estão sendo rastreados pela estação de referência e as suas respectivas variações da PRC (diferenças da correção da pseudodistância ( $\Delta$ PRC), desde a última transmissão num quadro referência). Neste quadro, transmitem-se, inicialmente, as diferenças da PRC (após a informação da identificação do satélite) dos três satélites da tabela, posteriores ao satélite transmitido pelo quadro referência<sup>20</sup>. No quadro diferencial seguinte, são transmitidas estas diferenças para os três satélites (após a informação da sua identificação) subseqüentes ao último transmitido no quadro diferencial anterior, e assim sucessivamente, num ciclo fechado, para a constelação de satélites disponíveis (rastreados pela estação de referência) naquele momento. Se um dos satélites a ser transmitido no quadro diferencial foi transmitido pelo último quadro de referência, então este é pulado, usando-se o próximo da tabela, otimizando-se dessa forma o processo da comunicação e da atualização da informação. Utilizou-se 7 bits para o

<sup>19</sup> Este valor é para o fator de escala da PRC de 0,32 m. Para o fator de escala de 0,02 m, os limites ficam entre  $\pm 81,9$  m.

<sup>20</sup> Inicialmente o autor, no desenvolvimento do sistema, ao invés de transmitir, no quadro diferencial, a identificação do satélite seguida da variação da PRC, transmitia somente a variação da PRC, não para três, mas para seis satélites. O quadro era transmitido sem os campos de identificação dos satélites, já que eles podiam ser referenciados ao quadro anterior. Entretanto, esta forma não mantinha a integridade e a confiabilidade do sistema, visto que a perda de um dos quadros ocasionada por problemas na comunicação fazia com que o sincronismo se perdesse, e o sistema teria que ser reinicializado. Na forma atual, cada quadro é independente e auto-suficiente. Dessa forma, perdas de sinal (ou de quadros de informação) não desestabilizam a continuidade do processo.

$\Delta$ PRC, podendo-se comunicar valores para a mesma no intervalo máximo de  $\pm(2^6 \cdot 0,32 \text{ m} - 0,32 \text{ m}) = \pm 20,16^{21} \text{ m}$ . Novamente, de acordo com as observações realizadas anteriormente (figura 13), não deverá haver nenhum problema de sub dimensionamento com esta redução.

Comentou-se anteriormente que os quadros de referência e diferencial são transmitidos de forma intercalada e que o decodificador necessita inicialmente das informações de referência para começar a utilizar as informações do quadro diferencial visando iniciar a geração/fornecimento das correções diferenciais. Então, faz-se necessário “esperar” até que um ciclo de recepção de todos os quadros de referência se complete. Dessa forma, o tempo mínimo necessário para que o decodificador inicie o fornecimento das correções diferenciais ao usuário, após ter sido ligado e ter iniciado a recepção do sinal RDS, é de  $2 \cdot \text{número de satélites} \cdot 0,6 \text{ segundo}$ , porque a cada 0,6 segundo é transmitido um quadro (de referência ou diferencial), e após cada quadro de referência correspondente a um satélite, é transmitido um quadro diferencial (daí o fator 2 na equação). Com o sistema na forma proposta, a latência devido à restrição da capacidade do RDS será bastante baixa (na ordem de 1 a 3 segundos, em média), uma vez que podem ser transmitidas informações de até 4 satélites (1 satélite no quadro de referência + 3 satélites no quadro diferencial) a cada 1,2 s. No quadro 10 mostra-se a comparação dos bits necessários, utilizando-se o formato desenvolvido (RDS-ODA) e a forma original RTCM. Percebe-se que, para 4 satélites tem-se 9 palavras RTCM tipo 1, que seriam transmitidas pelo RTCM com 270 bits, são transmitidos pelo RDS-ODA com 74 bits. De acordo com este quadro, conseguiu-se um fator médio de compactação de 2,97 (4230 bits / 1424,5 bits), ou seja, a quantidade média de dados a serem transmitidos com o formato desenvolvido é reduzida para quase 1/3 do original (RTCM). De forma geral, esta é a maior contribuição deste trabalho.

O formato proposto e anteriormente descrito será doravante denominado de DGPSBRDS (DGPS Brasileiro por RDS).

---

<sup>21</sup> Valores para o fator de escala da PRC de 0,32 m. Para o fator de escala de 0,02 m, os mesmos se situam entre  $\pm 1,26 \text{ m}$ .

QUADRO 10 – BITS NECESSÁRIOS PARA O FORMATO RTCM E O DGPSBRDS

No. de satélites	No. de palavras <sup>22</sup> RTCM tipo 1	No. de bits RTCM	No. de bits RDS-ODA <sup>23</sup>
4	9	270	74
5	11	330	111 a 148
6	12	360	111 a 148
7	14	420	111 a 148
8	16	480	148
9	17	510	185
10	19	570	185 a 222
11	21	630	185 a 222
12	22	660	222
<b>Total</b>	<b>141</b>	<b>4230</b>	<b>1424,5 (média)</b>

FONTE: O autor

Agora, torna-se mais simples compreender a estrutura necessária para o provimento das correções diferenciais utilizando emissoras FM com o RDS. Na figura 14 observa-se esta estrutura básica. De um lado tem-se a geração das correções diferenciais e a sua codificação para o RDS. A geração das correções é efetuada por um receptor GPS de referência de alta precisão. Ele, conhecendo a sua posição, calcula estas correções pela diferença entre as pseudodistâncias medidas e as calculadas, para os satélites rastreados. As correções diferenciais, geradas no formato RTCM, devem então ser processadas, ou seja, elas são codificadas/compactadas para o formato compatível com o RDS, conforme descrito anteriormente (formato DGPSBRDS). Este processamento é realizado por um microcomputador rodando o programa desenvolvido para esta finalidade, denominado CRTCMRDS (Codificador RTCM-RDS), o qual será mais detalhado posteriormente.

Após o processamento, as correções diferenciais, já convertidas para o formato DGPSBRDS, são enviadas para um equipamento denominado codificador/modulador RDS<sup>24</sup>. Ele tem a função de adicionar as informações a serem transmitidas à programação normal da emissora. O sinal, carregando ambas as informações, é então

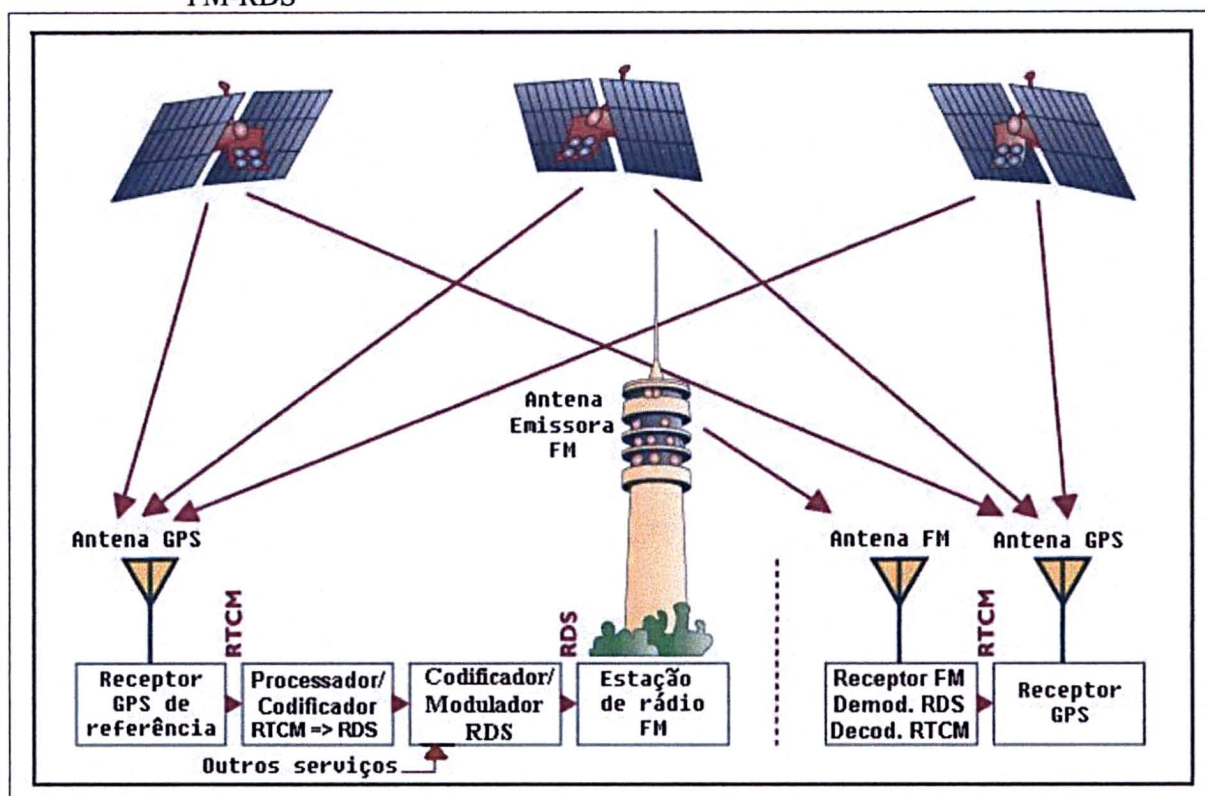
<sup>22</sup> Ver equação 02 da seção 2.3.

<sup>23</sup> O valor foi calculado considerando-se que dois quadros (1 referência + 1 diferencial) permitam a transmissão de dados relativos a 4 satélites, num processo contínuo de aquisição, onde já houve a inicialização do decodificador.

<sup>24</sup> Este equipamento geralmente é conhecido por codificador RDS (*RDS Encoder*). Entretanto, para distingui-lo do codificador CRTCMRDS (programa), ele será mais apropriadamente denominado, neste trabalho, de codificador/modulador RDS (equipamento), uma vez que ele executa as duas funções (de codificação e modulação) simultaneamente.



FIGURA 14 – ESTRUTURA BÁSICA PARA O POSICIONAMENTO DGPS UTILIZANDO FM-RDS



FONTE: RDS-DGPS (2001)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

irradiado pela antena do transmissor da emissora em FM. O envio das informações para o modulador RDS é realizado seguindo-se um protocolo de comunicação específico, denominado UECP (*Universal Encoder Communication Protocol*). Ele é descrito detalhadamente em EBU-SPB 490 (1997), e será sucintamente descrito na seção seguinte.

Do lado do usuário, o mesmo deve possuir um receptor FM/RDS, o qual recebe o sinal da emissora em FM, demodula (extraí) a informação contida no RDS e decodifica o grupo RDS-ODA, do formato compacto codificado na transmissão (DGPSBRDS), para o formato RTCM. O processo de demodulação RDS é realizado por um circuito eletrônico<sup>25</sup>. A decodificação RDS se dá por meio de um sistema microprocessado, através de um programa específico<sup>26</sup>, e a decodificação do grupo ODA é realizada pelo programa DRDSRTCM (Decodificador RDS-RTCM),

<sup>25</sup> Será abordado na seção 5.

<sup>26</sup> Adaptou-se um programa decodificador RDS, desenvolvido na Alemanha, para o desenvolvimento do sistema brasileiro. Na seção 5 apresenta-se detalhes sobre ele.

desenvolvido em linguagem QuickBasic e que, basicamente, faz o processo inverso do programa CRTCMRDS. As informações (correções diferenciais), no formato RTCM, podem então ser aplicadas pelo receptor GPS do usuário, visando o cálculo da sua posição em tempo real (DGPS).

#### 4.3 O PROTOCOLO UECP - *UNIVERSAL ENCODER COMMUNICATION PROTOCOL*

O protocolo UECP, em sua quinta revisão desde agosto de 1997, foi desenvolvido pela EBU (*European Broadcasting Union*), situada em Genebra, Suíça, e pelo *RDS Forum*, com o objetivo de padronizar a comunicação com os equipamentos codificadores/moduladores de diferentes fabricantes (EBU-SPB 490, 1997). Descrever-se-á na seqüência os elementos mais importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

A camada física<sup>27</sup> faz uso da interface serial padrão EIA<sup>28</sup> RS 232C, geralmente conhecida por porta (de comunicação) serial.

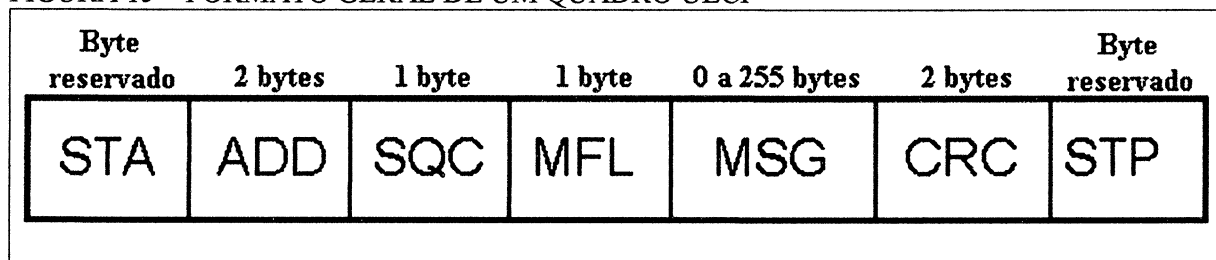
A camada de enlace de dados compreende quadros de dados delimitados por dois bytes reservados (STA - *start* - e STP - *stop*), conforme ilustra a figura 15. Cada quadro referência ou diferencial gerado pelo programa CRTCMRDS é formatado de acordo com este protocolo e imediatamente enviado ao codificador/modulador RDS pela porta de comunicação serial.

---

<sup>27</sup> As redes de computadores e os sistemas de telecomunicação, em geral, são projetados de forma estruturada. Sua organização se dá por camadas ou níveis, cada uma com determinadas características visando cumprir determinada função. Por exemplo, a camada física descreve as características dos elementos e os parâmetros físicos de comunicação que devem ser utilizados no sistema, tais como: padrão de conectores, níveis de tensão elétrica na sinalização (fluxo) dos dados, entre outros. A camada de enlace de dados descreve as características para a "fragmentação" e formatação dos dados em quadros, visando a sua correta "comunicação". O conjunto destas regras e convenções, para cada camada, é conhecido como **protocolo**. Mais detalhes a respeito podem ser encontrados em TANENBAUM (1994).

<sup>28</sup> EIA - *Electronic Industries Association*

FIGURA 15 – FORMATO GERAL DE UM QUADRO UECP



FONTE: EBU-SPB 490 (1997, p. 12)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

Cada quadro UECP é formado pelos seguintes campos (figura 15):

- início (STA): 1 byte, sempre os caracteres reservados FEh<sup>29</sup>
- endereço (ADD): 2 bytes;
- contador de sequência (SQC): 1 byte;
- comprimento do campo da mensagem (MFL): 1 byte;
- mensagem de dados propriamente dita (MSG): 0 a 255 bytes. Para a aplicação deste trabalho serão usados 5 bytes (inteiro maior ou igual a 37 bits/8 bits/byte);
- código de redundância cíclica (CRC<sup>30</sup>): 2 bytes, para a verificação de erros nos bits do quadro. Para o cálculo do CRC, faz-se uso do polinômio CCITT<sup>31</sup>, cujo divisor polinomial é:  $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$  (EBU-SPB 490, p. 107); e
- parada (STP): 1 byte, sempre os caracteres reservados FFh.

No campo de endereço (ADD) é inserido o endereço do codificador/modulador para o qual se deseja enviar o quadro. Ele é útil quando há uma rede de codificadores/moduladores controlados remotamente por uma central, onde pode-se enviar um comando específico somente a um codificador/modulador, a um grupo de codificadores/moduladores, ou a todos desta rede (EBU-SPB 490, p. 5-6).

<sup>29</sup> Dois caracteres hexadecimais (4 + 4 bits) correspondem a 1 byte.

<sup>30</sup> CRC - *Cyclic Redundancy Check*

<sup>31</sup> CCITT (*Comité Consultatif International de Téléphonie et Télégraphie* - Comitê Consultivo Internacional de Telegrafia e Telefonia): é uma associação internacional que prepara padrões de comunicação mundialmente aceitos e utilizados. Tratando-se de verificação de erros, ela padroniza também um divisor polinomial. Divisor polinomial é um polinômio utilizado para a geração de bits de redundância, objetivando a verificação de erro. A divisão dos bits de dados (na forma polinomial) pelo divisor polinomial resulta num resto, que corresponde aos bits de verificação (o CRC). Se ocorrer uma corrupção (erro) nos bits de dados transmitidos, a probabilidade de o resto da divisão calculado pelo receptor ainda coincidir com o CRC transmitido é muito remota, se o polinômio for bem escolhido, permitindo assim a detecção de erro na transmissão.

Neste trabalho, como havia somente um codificador/modulador, utilizou-se o endereço "0" (zero).

O campo de sequência (SQC) deve conter o número da sequência do quadro UECP. Como transmitiu-se somente um quadro por vez, neste trabalho, seu valor ficava fixado como "0".

O campo correspondente à informação do comprimento da mensagem (MFL) indica quantos bytes estão contidos no campo da mensagem (MSG).

O campo da mensagem de dados (MSG) é composto basicamente por dois tipos de elementos: o elemento de código da mensagem (*Message Element Code* – MEC)<sup>32</sup> e o elemento de dados da mensagem (*Message Element Data* – MED)<sup>33</sup>. A figura 16 mostra o formato genérico do protocolo de comunicação com o codificador/modulador, para mensagens dos grupos de aplicação aberta de dados – ODA. Este é o formato utilizado neste trabalho. Os códigos de cada grupo (primeiro campo MED) encontram-se na página 19 de CENELEC (1998). Em breve, eles também estarão disponíveis na especificação da ANATEL<sup>34</sup>. Como utilizou-se neste trabalho o grupo RDS-ODA 11A, este código corresponde a 16h. O segundo campo MED, do campo de mensagem UECP, corresponde aos bits de configuração (seleção de modo - normal, *burst* ou *spinning wheel* -, uso do *buffer* e configuração de prioridade). Para mais detalhes, ver páginas 44 e 45 de EBU-SPB 490. Os campos terceiro a sétimo do MED correspondem aos 37 bits de dados que se pretende transmitir.

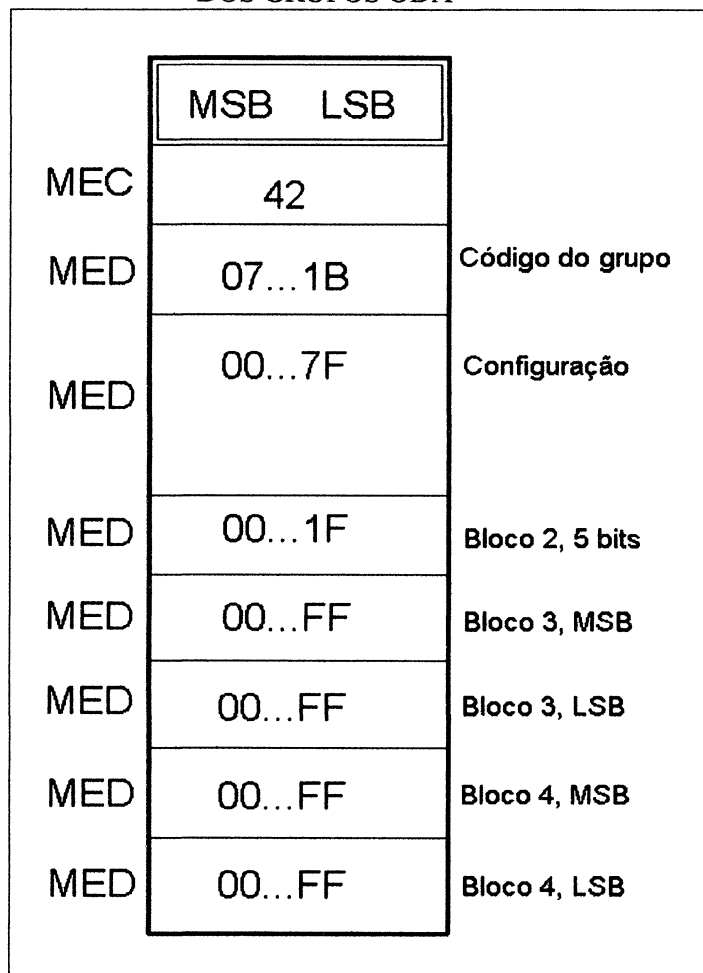
---

<sup>32</sup> MEC - Elemento de código da mensagem: é um código que identifica o comando a ser dado ao codificador/modulador. Por ex., o MEC 42 tem a função de adicionar um grupo (indicado no primeiro campo MED) ao *buffer* de formato livre (ODA) do codificador/modulador. Os elementos de código e sua descrição encontram-se em EBU-SPB 490 (p. 22 a 105).

<sup>33</sup> MED - Elemento de dados da mensagem: são os dados referentes ao comando MEC, servindo basicamente para configuração e fornecimento dos dados a serem transmitidos.

<sup>34</sup> Como as especificações da ANATEL serão basicamente uma tradução adaptada ao Brasil da norma EN50067 (CENELEC), estes códigos deverão permanecer os mesmos.

FIGURA 16 – FORMATO DO PROTOCOLO PARA MENSAGENS DOS GRUPOS ODA



FONTE: EBU-SPB 490 (1997, p. 44)

NOTA: Adaptado e traduzido pelo autor.

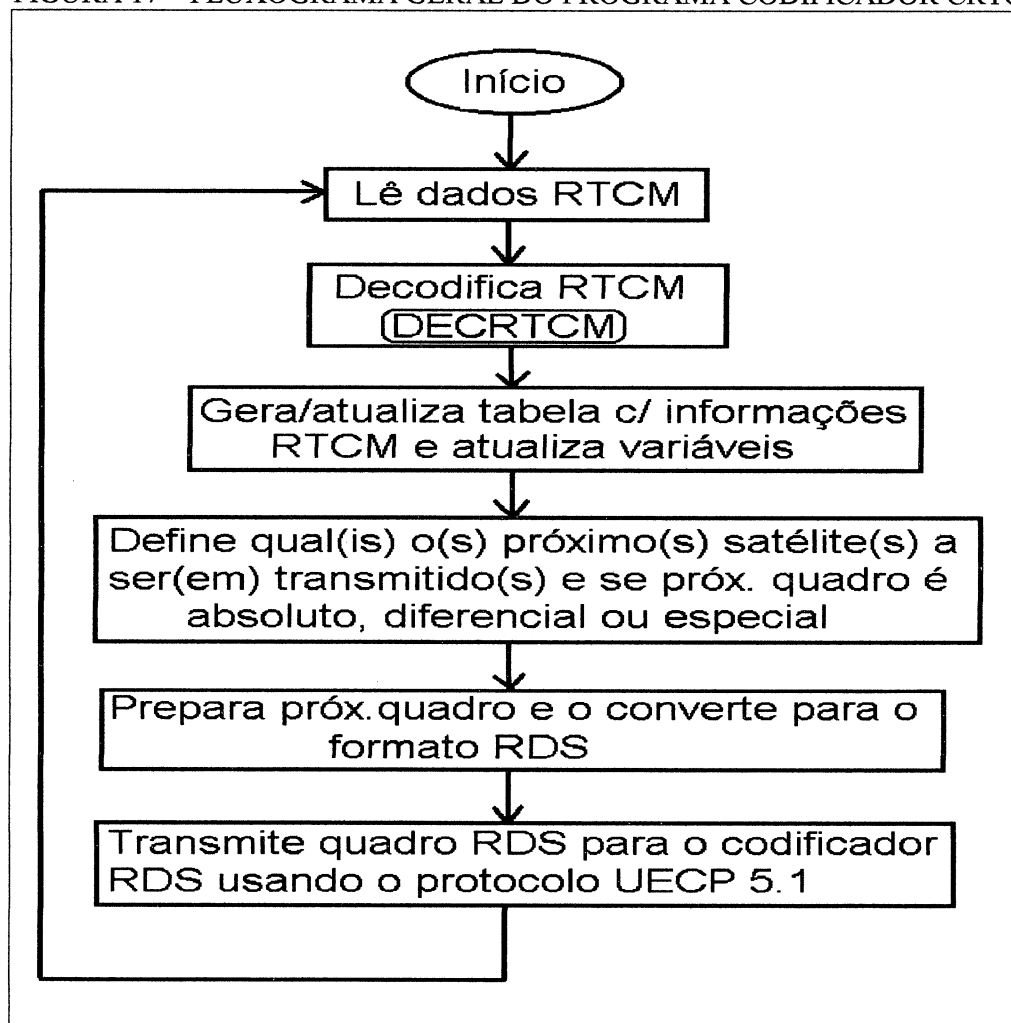
#### 4.4 PROGRAMAS CODIFICADORES E DECODIFICADORES DESENVOLVIDOS

Para implementar o sistema anteriormente proposto, desenvolveram-se programas computacionais codificadores (CRTCMRDS) e decodificadores (DRDSRTCM). Ambos são originais (desenvolvidos pelo autor), e serão aqui explanados de forma simplificada.

#### 4.4.1 Programa Codificador CRTCMRDS

O programa que realiza a codificação dos quadros RTCM para o RDS, desenvolvido na linguagem QuickBasic, é denominado CRTCMRDS. Na figura 17, observa-se o fluxograma geral deste programa. Inicialmente, ele lê, através de porta serial, os dados do quadro RTCM. Este quadro é gerado por um receptor GPS configurado como base. Na sequência, o quadro RTCM é decodificado. Este processo é realizado pelo programa DECRTCM (embutido no CRTCMRDS), conforme descrito na seção 4.1.

FIGURA 17 – FLUXOGRAMA GERAL DO PROGRAMA CODIFICADOR CRTCMRDS



FONTE: O autor



Os dados decodificados são colocados numa tabela, a qual contém as informações relativas a cada satélite, tais como: PRC, UDRE, SATID (=PRN)<sup>35</sup>, IODE e MZC. Esta tabela contém ainda outras informações, tais como o tipo do último quadro que foi gerado e transmitido pelo programa (se referência ou diferencial), o  $\Delta$ PRC atualizado de cada satélite, além de variáveis de controle internas. Atualizada a tabela, são extraídas da mesma as informações necessárias para a composição do próximo quadro RDS (quadro referência ou quadro diferencial de 37 bits) que será gerado e transmitido (seção 4.2). Estas informações, para serem enviadas ao codificador/modulador RDS, devem ser formatadas seguindo o protocolo UECP, conforme descrito na seção anterior (seção 4.3).

Como foi dito na seção 4.2, a cada incremento do MZC (a cada 0,6 s) é transmitido um quadro referência ou um quadro diferencial, intercalados. O quadro 11 ilustra como ocorre a seqüência deste processo, para quando 5 satélites estão sendo rastreados pela estação de referência. Nele observa-se que nos quadros referência são transmitidos os dados dos satélites de forma seqüencial, de acordo com sua ordem na tabela. Nos quadros diferenciais, transmitem-se as diferenças para os três satélites da tabela posteriores ao último transmitido no quadro diferencial anterior. Caso os dados para um destes satélites tenha sido transmitido no último quadro referência, este é "pulado", priorizando a transmissão das informações mais antigas, de forma a otimizar o processo da sua atualização. Nas situações em que ocorre a entrada de um novo satélite, ou a saída de um que estava sendo rastreado, é transmitido um

QUADRO 11 – EXEMPLO ILUSTRATIVO DA SEQÜÊNCIA DE TRANSMISSÃO DOS QUADROS PELO PROGRAMA CRTCMRDS

SAT. DA TABELA	TIPO DO QUADRO TRANSMITIDO A CADA 0,6 s R= REFERÊNCIA D=DIFERENCIAL (o número indica a ordem de seqüência na tabela)																					
	SAT. 1	R			D2		D3				D1	R					D1		D2		...	
SAT. 2			D1	R						D1		D2		D3	R			D2		D3		...
SAT. 3			D2		D3	R				D2		D3					D1	R				...
SAT. 4			D3				D1	R					D1		D2		D3	R				...
SAT. 5					D1		D2		D3	R			D2		D3					D1	R	...

FONTE: O autor

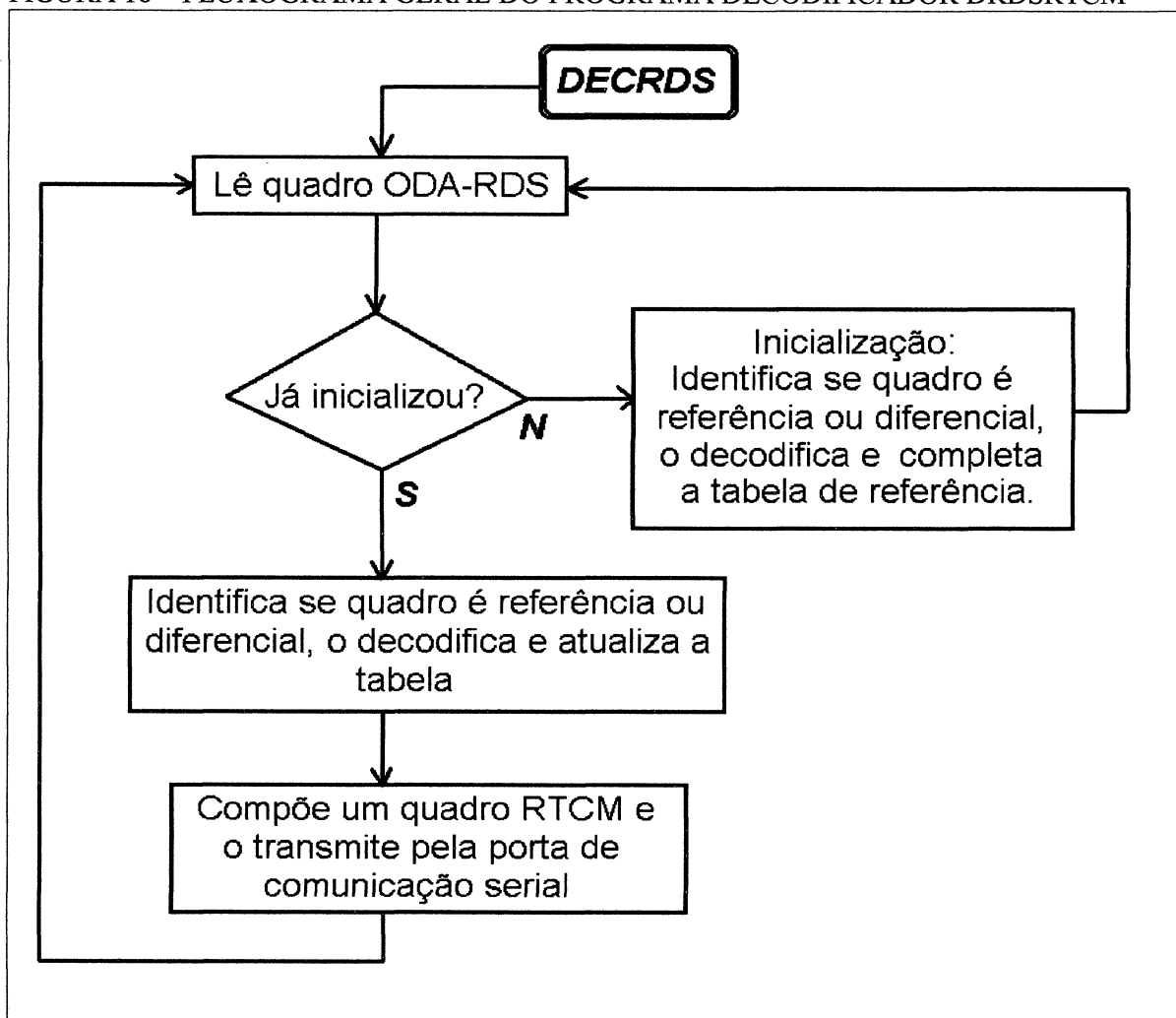
<sup>35</sup> No programa, o autor utilizou a variável SATID (identificação do satélite).

quadro chamado “especial”, para informar o fato ao decodificador. Este quadro contém um código específico, definido pelo autor, para uma daquelas situações.

#### 4.4.2 Programa decodificador DRDSRTCM

O programa que realiza a decodificação dos quadros RDS para o RTCM, também desenvolvido na linguagem QuickBasic, é denominado DRDSRTCM. Na figura 18, observa-se o fluxograma geral desse programa. O DRDSRTCM realiza a decodificação do grupo ODA-RDS gerado pelo CRTCMRDS e transmitido pela emissora, através do RDS. A decodificação RDS (extração de seus grupos) é realizada pelo programa DECRDS.

FIGURA 18 – FLUXOGRAMA GERAL DO PROGRAMA DECODIFICADOR DRDSRTCM



FONTE: O autor



A versão básica original do programa DECRDS, denominada RDS\_20.pas, foi escrita na linguagem PASCAL, por uma equipe de alemães: Dr.-Ing. Martin Ohsmann, Jochen Zeitler e Udo Deutscher. Este último forneceu gentilmente o código fonte do programa ao autor, para a adaptação e utilização neste trabalho. No anexo 2 encontra-se o email referente ao empréstimo deste programa. Ele foi então adaptado para que extraia e forneça o grupo RDS-ODA 11A. À sua versão adaptada denominou-se então DECRDS.

O programa DECRDS fornece, assim, o quadro que contém as informações de correções diferenciais transmitidas. Neste quadro, de 5 bytes (10 caracteres hexadecimais), estão contidos os 37 bits de dados. O quadro é então decodificado pelo programa DRDSRTCM, conforme o fluxograma ilustrado na figura 18. Este programa cria uma tabela (inicialização) com as informações que foram transmitidas, necessárias para a composição de um quadro no formato RTCM. Posteriormente, ele a atualiza, a cada novo quadro RDS-ODA recebido. Para a composição de um quadro RTCM, algumas informações precisam ser reconstituídas, uma vez que não foram transmitidas. Dentre elas, tem-se a contagem Z modificada (MZC). Ela é reconstituída pela contagem Z modificada reduzida (CZMR) (seção 4.2), transmitida no quadro ODA de referência, com o auxílio da hora do microcomputador (ou PC – *Personal Computer*), o qual necessita ter seu sistema de tempo atualizado com o tempo GPS. A CZMR fornece os segundos do minuto corrente, e pelo PC obtém-se o minuto da hora corrente. Compondo-se os dois, obtém-se o MZC. A RRC, como foi dito na seção 4.2, é calculada pelas variações da PRC no tempo. O número de seqüência é inicialmente arbitrado como 0 e posteriormente calculado pelo programa. Os bits de paridade de cada palavra do quadro RTCM devem ser calculados de acordo com as equações do quadro 06 (seção 4.1). O comprimento do quadro também é calculado (equação 03, seção 2.3) pelo programa. Finalmente, “montado” o quadro RTCM segundo os critérios descritos na seção 4.1, o DECRDSRTCM fornece o mesmo pela porta de comunicação serial, de forma transparente, ao receptor GPS do usuário.

A título de ilustração e satisfação da curiosidade do leitor, mostra-se no quadro 12 uma seqüência de quadros RDS-ODA gerados e transmitidos pelo programa CRTCMRDS e recebidos pelo programa DRDSRTCM. Deve-se observar que de um

quadro RTCM original (ver quadro 05), com comprimento variável (várias dezenas de caracteres, conforme o número de satélites), obtém-se, pelo sistema desenvolvido (o DGPSBRDS), quadros RDS-ODA com comprimento fixo de 10 caracteres hexadecimais. Com este sistema, consegue-se “comunicar” quase a mesma quantidade de informação comunicada pela mensagem RTCM original. Na próxima seção, analisar-se-á a eficiência deste sistema.

**QUADRO 12– AMOSTRA DE QUADROS RDS-ODA GERADOS PELO DGPSBRDS**

1105180700
071C067F5E
1782881901
078886A113
11001C1342
088556DF84
17437C1942
0107276031
17427808C3
071C083F57
19431431C3
0788886110
13447438C3
088558BF7A
19461461C4
0107292022
18CA9471C7
0196E97FB1
13467487C5
07988A2101
18C2944144
08855A7F6A
1181341741
01072AE015
1184301702
0196EB3FB3
1785885903
070C0BBF48
1785884904
07988BE10D
1101185302

FONTE: O autor

## 5. LEVANTAMENTOS REALIZADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

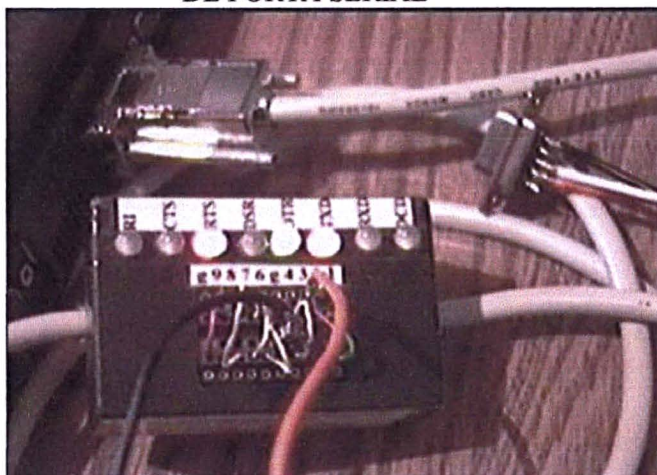
Visando realizar a validação do sistema DGPSBRDS e analisar a sua eficiência, realizaram-se alguns levantamentos e investigações. Inicialmente, efetuaram-se levantamentos com o sistema em condições ideais, isto é, com linha de base<sup>1</sup> zero e sem ruídos (ou erros) na comunicação, conforme será visto na seção 5.1. Posteriormente, realizaram-se levantamentos com o sistema completo, sob condições reais, em alguns pontos situados na cidade de Curitiba (seção 5.2). A descrição destes levantamentos e a análise dos resultados alcançados serão apresentadas nas seções subseqüentes. Também serão apresentadas algumas investigações como: avaliação da amplitude dos erros remanescentes no levantamento DGPS em condições ideais; observação do comportamento do erro de posição durante transições do método de posicionamento diferencial para o absoluto, dentre outras, apresentadas ao longo desta seção.

É importante destacar que, para desenvolver todo o sistema e colocar cada uma de suas partes em funcionamento, o autor teve que, ao longo do trabalho, desenvolver e/ou elaborar algumas ferramentas de software e de hardware (e/ou fazer suas adaptações). Uma delas foi um circuito para monitoramento e configuração dos sinais de porta de comunicação serial RS 232C, conforme pode se observar na figura 19. Ele foi muito útil para acompanhar o estado do sinal em cada um dos pinos das portas seriais, possibilitando a correta configuração do cabeamento e nos programas, permitindo o seu perfeito funcionamento. Outras adaptações realizadas serão descritas no momento apropriado ao longo desta seção.

---

<sup>1</sup> Linha de base: distância de separação entre a estação de referência (geradora das correções diferenciais) e a estação usuária (destas mesmas correções). Na linha de base zero, utiliza-se simultaneamente o mesmo ponto (marco) para as duas estações (referência e usuária). Mais detalhes serão vistos na seção 5.1.

FIGURA 19– CIRCUITO PARA MONITORAMENTO E CONFIGURAÇÃO DE PORTA SERIAL



Para auxiliar na análise dos dados obtidos com estes levantamentos, fez-se necessário desenvolver um programa denominado NMEAGGA, em linguagem MATLAB. Ele lê os dados das sentenças GGA (formato NMEA<sup>2</sup>) de um arquivo, gera três gráficos e um arquivo de saída com os resultados estatísticos. O primeiro gráfico mostra o erro na posição (diferença em módulo entre as coordenadas bidimensionais conhecidas e as medidas), para cada uma das medidas realizadas. A distribuição dos erros acumulados (ou frequência relativa dos erros<sup>3</sup>), para diversas faixas, pode ser observada no segundo gráfico gerado pelo NMEAGGA; e o terceiro gráfico ilustra a plotagem bidimensional das medidas, admitindo-se as coordenadas verdadeiras como ponto central. Estes gráficos serão apresentados durante o desenvolvimento desta seção.

<sup>2</sup> Sentenças no formato NMEA: são quadros de dados no formato ASCII (sentenças de texto) fornecidos por equipamentos de navegação e posicionamento, cujo protocolo foi definido pela *National Marine Electronics Association* (NMEA). A NMEA é uma organização internacional que define normas e padrões de comunicação para os equipamentos produzidos pela indústria eletrônica marinha. Há vários tipos de sentenças NMEA. Uma delas é a sentença GGA, fornecida por receptores GPS, e que fornece informações tais como: o instante (UTC) da medida/cálculo da posição, a latitude, a longitude, o número de satélites usados no cálculo da posição, indicação se a medida da posição foi efetuada pelo método absoluto ou pelo diferencial, o HDOP (*Horizontal Dilution of Position*), dentre outras. Exemplo de uma sentença

NMEA-GGA:  
**\$GPGGA,122826.00,2527.01196,S,04916.38768,W,2,07,01.3,+00907.42,M,+003,M,002,0001\*7B.**

<sup>3</sup> Frequência relativa dos erros: relação entre número de medidas cujos erros se situam entre uma determinada faixa de valores e o número total de medidas realizadas.

### 5.1. LEVANTAMENTOS DGPS COM O SISTEMA EM CONDIÇÕES IDEAIS

O principal objetivo deste levantamento DGPS foi avaliar a qualidade e a eficiência do sistema compacto desenvolvido, possibilitando a quantificação do erro cometido devido à perda de parte da informação contida na mensagem RTCM original. Utilizou-se uma antena geodésica, instalada sobre o marco RM03<sup>4</sup> do LAGE<sup>5</sup>, conforme ilustra a figura 20. O sinal GPS desta antena foi recebido, por meio de um divisor de sinais<sup>6</sup>, por dois receptores geodésicos Ashtech ZXII. Um desses receptores foi configurado como base, para a geração de correções diferenciais, e o outro como remoto, aplicando estas correções diferenciais. Como neste caso a linha de base era zero e os receptores de mesma marca e fabricante, supôs-se que os erros atuantes em ambos deveriam ser praticamente idênticos. Inicialmente buscou-se avaliar a amplitude dos erros remanescentes<sup>7</sup> neste sistema, para que as suas grandezas não venham a mascarar a avaliação da qualidade e da eficiência do sistema compacto desenvolvido. Obteve-se, portanto, uma avaliação da acurácia das observações DGPS.

Na figura 21 pode-se observar o esquema do sistema utilizado para o levantamento DGPS na condição ideal. Verifica-se que um dos receptores Ashtech ZXII foi colocado no modo base, gerando as correções diferenciais no formato RTCM. O outro receptor geodésico foi configurado no modo remoto, aplicando estas correções diferenciais. Ele fornece, através da porta de comunicação serial, as sentenças NMEA-GGA, as quais foram lidas e armazenadas em um microcomputador.

---

<sup>4</sup> Marco RM3: um dos marcos excêntricos ao marco PARA da RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (FORTES et al., 1998), constituinte da rede SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (IBGE, 1997, p. 59). Segundo DALAZOANA (2001, p. 43), o WGS84 (*World Geodetic System*), utilizado pelo GPS, possui características muito próximas ao SIRGAS. Após seus sucessivos refinamentos, pode-se considerá-lo coincidente com o SIRGAS ao nível centimétrico.

<sup>5</sup> LAGE- Laboratório de Geodésia Espacial, situado no campus Centro Politécnico da UFPR.

<sup>6</sup> Divisor de sinais: Peça contendo um circuito que permite a aplicação do sinal proveniente de uma antena GPS simultaneamente a dois receptores GPS. Ele foi gentilmente emprestada pelo IfE (*Institut für Erdmessung*), da Universidade de Hannover (Alemanha).

<sup>7</sup> Os erros remanescentes nestas estações (referência e usuária) seriam aqueles decorrentes do ruído do receptor e do efeito multicaminho. Como a antena era comum e os equipamentos iguais, admite-se que o efeito multicaminho também seja cancelado.

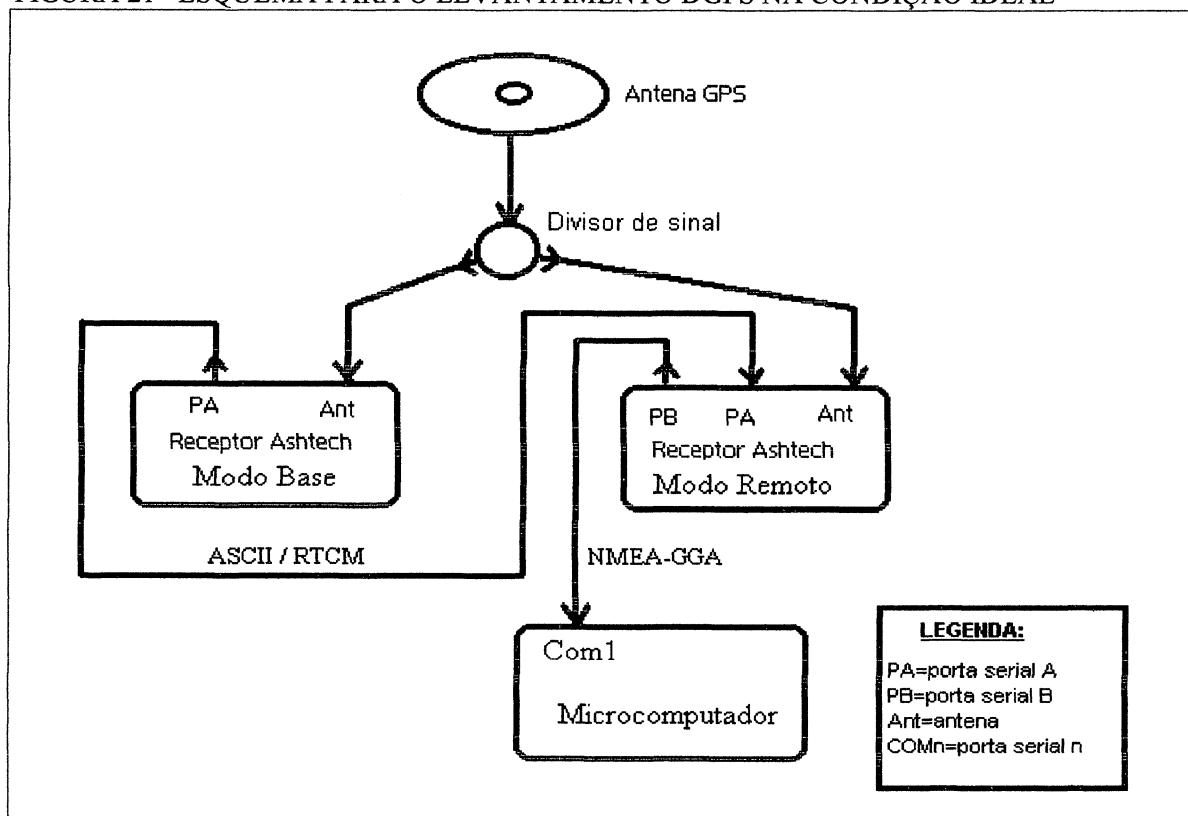


FIGURA 20 – ANTENA GEODÉSICA SOBRE O MARCO RM3 DO LAGE



Posteriormente, utilizando-se o mesmo esquema para a antena e para os receptores indicados na figura 21, realizou-se o rastreo DGPS empregando os programas desenvolvidos para o DGPSBRDS. As correções diferenciais RTCM geradas pelo receptor base foram enviadas a um microcomputador (microcomputador 1), no qual "rodava" o programa CRTCMRDS (ver figura 22). Ele, por sua vez, fornecia o correspondente quadro RDS-ODA a outro microcomputador (microcomputador 2), no qual rodava o programa DRDSRTCM. As correções RTCM geradas para o receptor GPS configurado como remoto foram enviadas pelo microcomputador 2. Deste receptor, lia-se, por um terceiro microcomputador (microcomputador 3), as informações de posição (sentença NMEA-GGA). Deve-se observar que, além da linha de base ter sido zero, a comunicação entre os blocos do sistema foi efetuada diretamente, via cabo, pelas portas seriais. Assim, eliminou-se problemas de ruído na comunicação ou perda de dados. Ressalta-se que ambos os levantamentos foram realizados na condição ideal.

FIGURA 21– ESQUEMA PARA O LEVANTAMENTO DGPS NA CONDIÇÃO IDEAL



FONTE: O autor

Na figura 23 observa-se uma imagem dos receptores GPS Ashtech ZXII e dos microcomputadores utilizados no levantamento DGPS empregando o DGPSBRDS na condição ideal. Eles foram instalados nas dependências do Laboratório de Geodésia Espacial - LAGE.

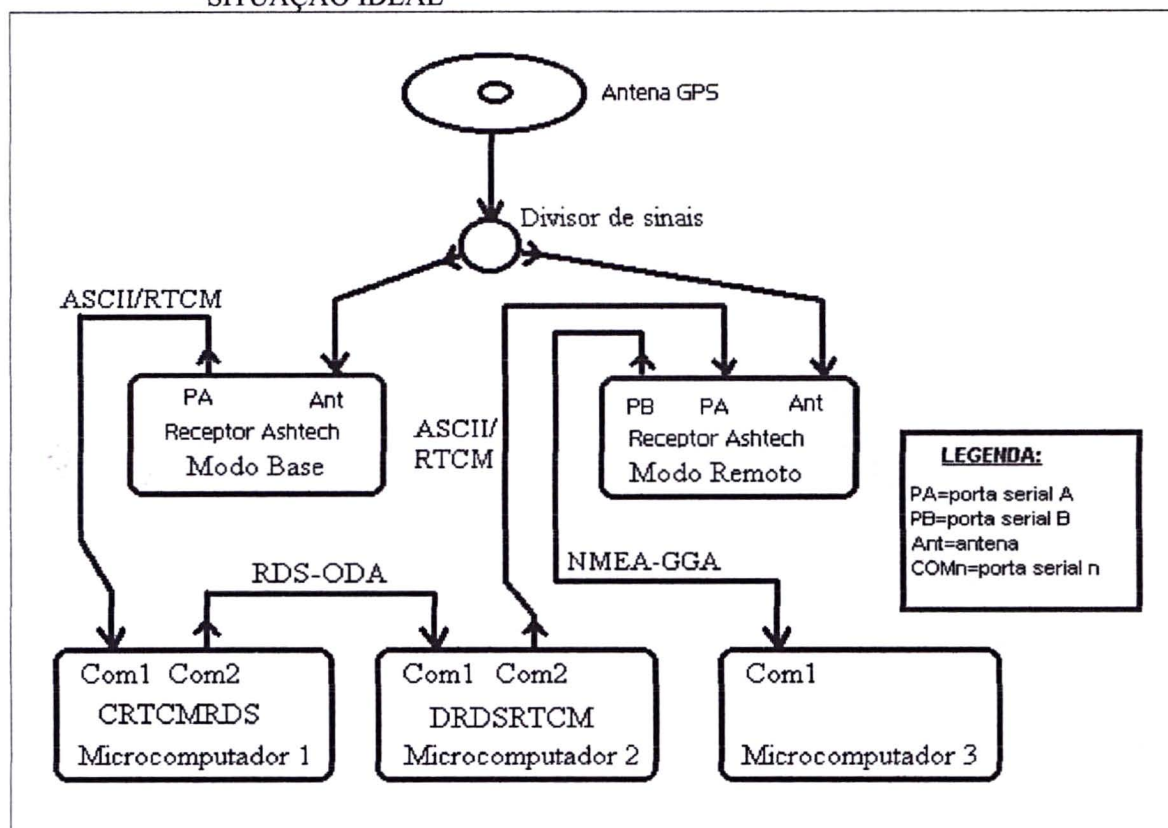
Nas figuras 24<sup>8</sup> e 25<sup>9</sup>, observam-se os gráficos para o levantamento DGPS na condição ideal direta (sem uso do DGPSBRDS). Na figura 25, observa-se que 82% das medidas ficaram com erros de posição abaixo de 5 cm, 17% ficaram entre 5 e 10 cm, e apenas 1% ficaram entre 10 e 15 cm. Foram realizadas um total de 8177 medidas. Pela figura 24 observa-se que o erro na posição devido basicamente ao ruído dos receptores apresenta valor máximo de 18 cm e valor médio em torno de 4 cm.

<sup>8</sup> Primeiro gráfico gerado pelo programa NMEAGGA, conforme descrito na seção 5.

<sup>9</sup> Segundo gráfico gerado pelo programa NMEAGGA, conforme descrito na seção 5.



FIGURA 22 – ESQUEMA PARA O LEVANTAMENTO DGPS USANDO DGPSBRDS NA SITUAÇÃO IDEAL



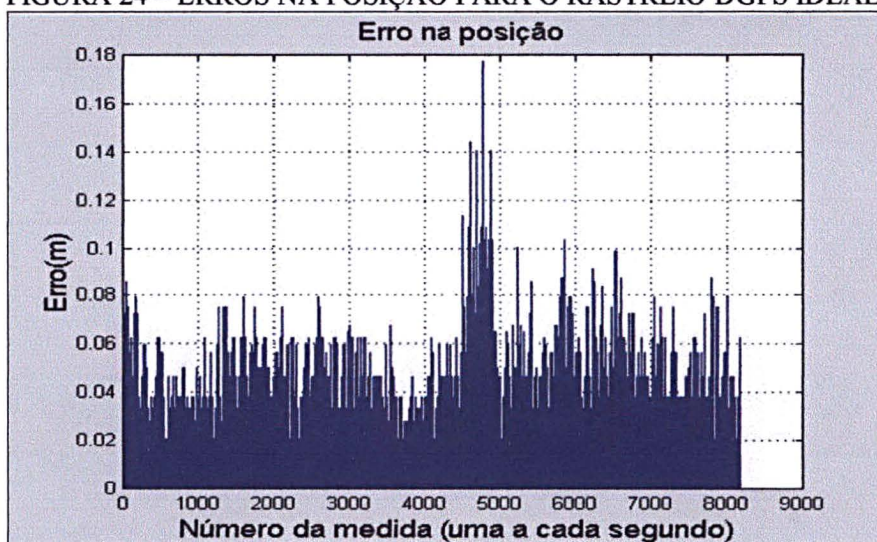
FONTE: O autor

FIGURA 23 – EQUIPAMENTOS DO RASTREIO DGPS USANDO DGPSBRDS NA SITUAÇÃO IDEAL



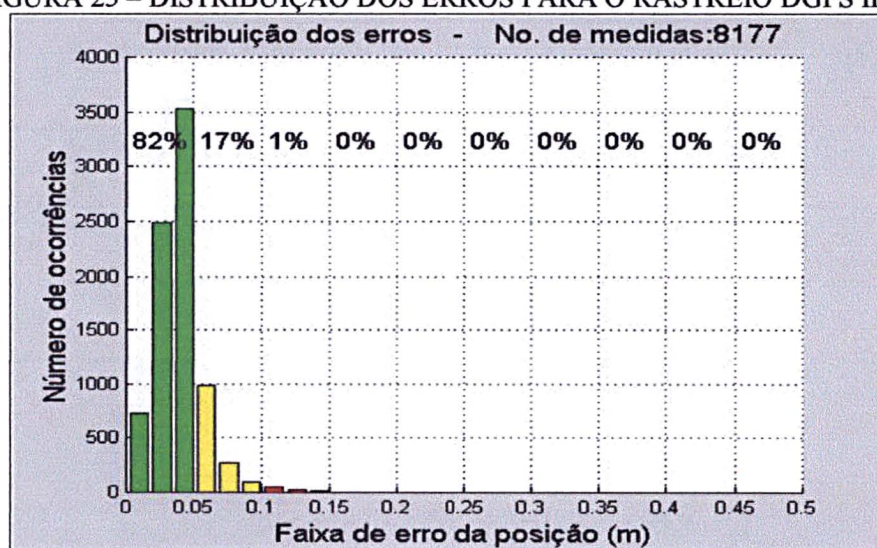
As figuras 26 e 27 mostram os gráficos gerados com os dados coletados durante o levantamento DGPS com uso do DGPSBRDS na condição ideal. Na 27, observa-se que 57% das medidas ficaram com os erros de posição abaixo de 5 cm, 25% ficaram entre 5 e 10 cm, 8% ficaram entre 10 e 15 cm e 9% entre 15 e 40 cm. Nela não foram representados os erros espúrios (erros superiores a 50 cm). Foram realizadas um total de 2804 medidas.

FIGURA 24 – ERROS NA POSIÇÃO PARA O RASTREIO DGPS IDEAL DIRETO



FONTE: O autor

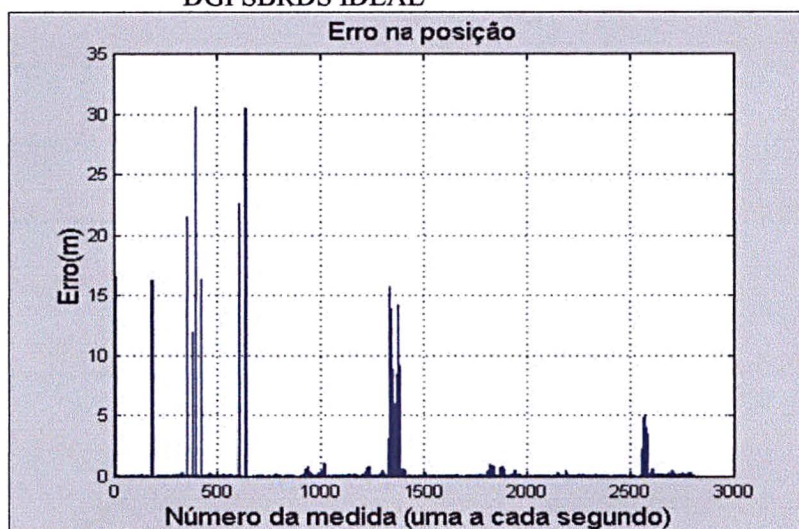
FIGURA 25 – DISTRIBUIÇÃO DOS ERROS PARA O RASTREIO DGPS IDEAL DIRETO



FONTE: O autor

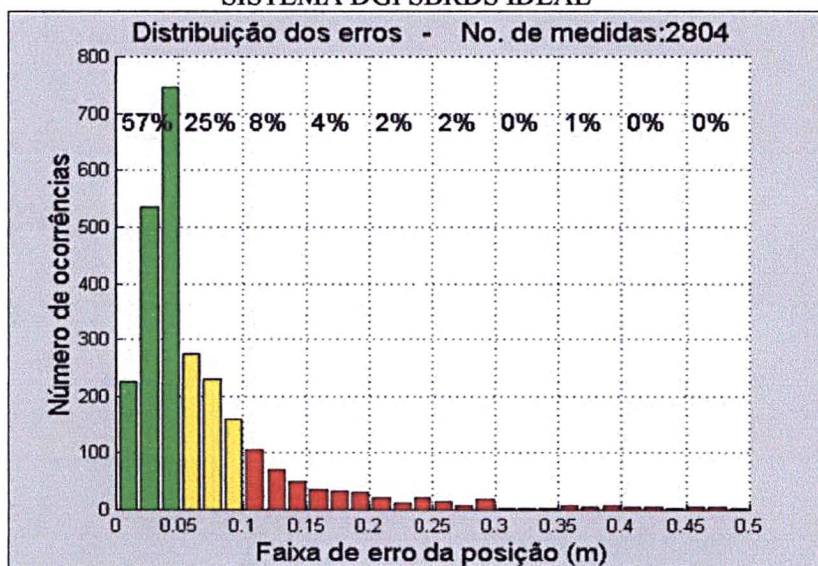


FIGURA 26 – ERROS NA POSIÇÃO PARA O RASTREIO DGPS COM O SISTEMA DGPSBRDS IDEAL



FONTE: O autor

FIGURA 27 – DISTRIBUIÇÃO DOS ERROS DO RASTREIO DGPS COM O SISTEMA DGPSBRDS IDEAL



FONTE: O autor

Na figura 26 percebem-se problemas causados por alguma falha no sistema DGPSBRDS. Surgem esporadicamente erros espúrios ou grosseiros (os “picos” espúrios no valor do erro na posição). Eles acontecem geralmente por 2 segundos seguidos, conforme observações efetuadas nos arquivos de vários levantamentos realizados. Fez-se uma depuração dos programas, objetivando-se solucionar este problema, sem êxito até o

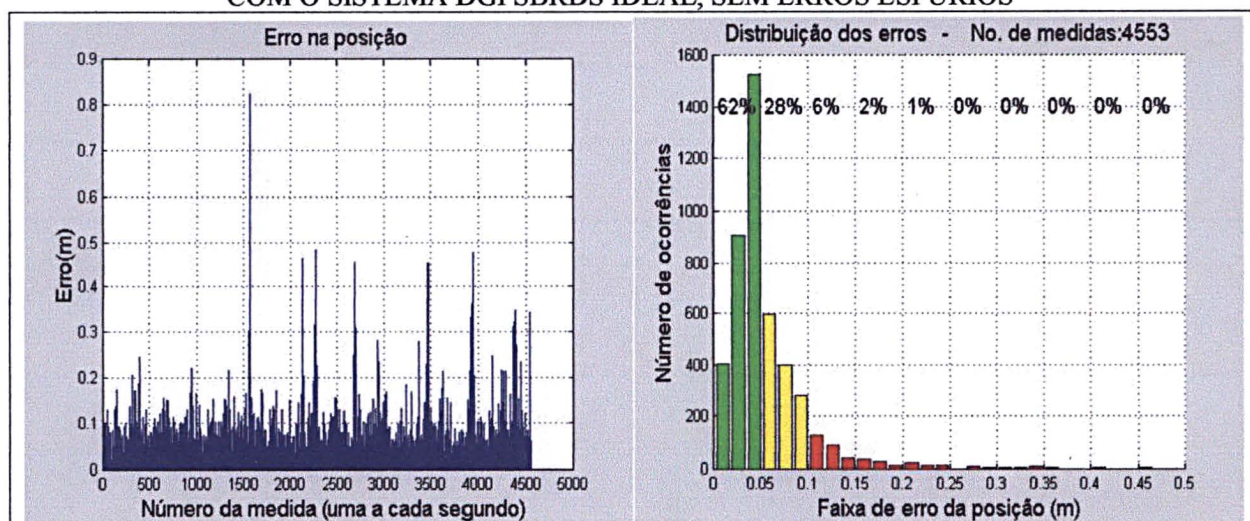
presente momento. Trata-se, provavelmente, de alguma condição particular, ainda não identificada, na qual ocorre uma instabilidade ou “estouro” de alguma variável. Há momentos, como será visto nos gráficos dos próximos levantamentos, nos quais este problema é ausente ou mínimo, e outros nos quais ele se torna mais presente. Acredita-se que se trata de um problema na programação ou em algum ponto no algoritmo, mas não na idealização do sistema<sup>10</sup>. Percebe-se que este problema deteriora os resultados estatísticos do levantamento. Entretanto, nos gráficos da distribuição dos erros da posição (figura 26) pode-se verificar que, excluindo-se aqueles erros espúrios, o restante das observações conservam-se com boa qualidade. Para avaliar a diferença que este “defeito” gera nos resultados estatísticos, selecionou-se um conjunto de observações de outro levantamento com o sistema DGPSBRDS onde não ocorreu nenhum problema desta natureza. Na figura 28 visualizam-se os resultados obtidos. Observa-se que a envoltória da distribuição dos erros de posição é visualmente idêntica àquela da figura 27. Constatase que 62% das medidas realizadas ficaram com erros de posição abaixo de 5 cm, 28% ficaram entre 5 e 10 cm e 9% ficaram entre 10 e 25 cm. Esta foi a distribuição dos erros em 4553 medidas realizadas com o levantamento DGPS com o sistema DGPSBRDS na condição ideal e sem os erros espúrios.

No quadro 13 observam-se os resultados estatísticos dos três casos: rastreo DGPS ideal direto; rastreo com o DGPSBRDS ideal com erros espúrios, e rastreo com o DGPSBRDS ideal sem a ocorrência de erros espúrios. Verifica-se que o erro médio de posição do DGPS ideal direto foi igual a 2 cm com um desvio padrão igual a 3 cm; DGPSBRDS ideal sem erros espúrios igual a 2 cm com um desvio padrão de 7 cm, e DGPSBRDS ideal com erros espúrios igual 9 cm com desvio padrão igual a 1,6 m. De acordo com estes resultados, conclui-se que o uso sistema DGPSBRDS resulta num posicionamento em tempo real, em condições ideais, com qualidade, quando

---

<sup>10</sup> O autor pretende dar continuidade no trabalho de depuração e desenvolvimento deste sistema, buscando inclusive cumprir as recomendações indicadas ao final deste trabalho (seção 6).

FIGURA 28 – ERROS NA POSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS ERROS DO RASTREIO DGPS COM O SISTEMA DGPSBRDS IDEAL, SEM ERROS ESPÚRIOS



FONTE: O autor

não há a ocorrência dos erros espúrios. Observa-se que a degradação na acurácia do posicionamento foi abaixo do decímetro.

O erro médio manteve-se o mesmo do que aquele com o DGPS ideal direto (2 cm), contudo o desvio padrão apresenta uma elevação de 3 para 7 cm. Entretanto, quando há a ocorrência dos erros espúrios, observa-se que o desvio padrão torna-se alto (1,60 m), embora o erro médio ainda tenha permanecido abaixo do decímetro.

QUADRO 13 – RESULTADOS ESTATÍSTICOS DOS RASTREIOS DGPS EM CONDIÇÕES IDEAIS

TIPO DO RASTREIO	ERRO MÉDIO [m]	DESVIO PADRÃO <sup>11</sup> [m]
DGPS IDEAL DIRETO	0,02	0,03
DGPSBRDS IDEAL SEM ERROS	0,02	0,07
DGPSBRDS IDEAL COM ERROS	0,09	1,60

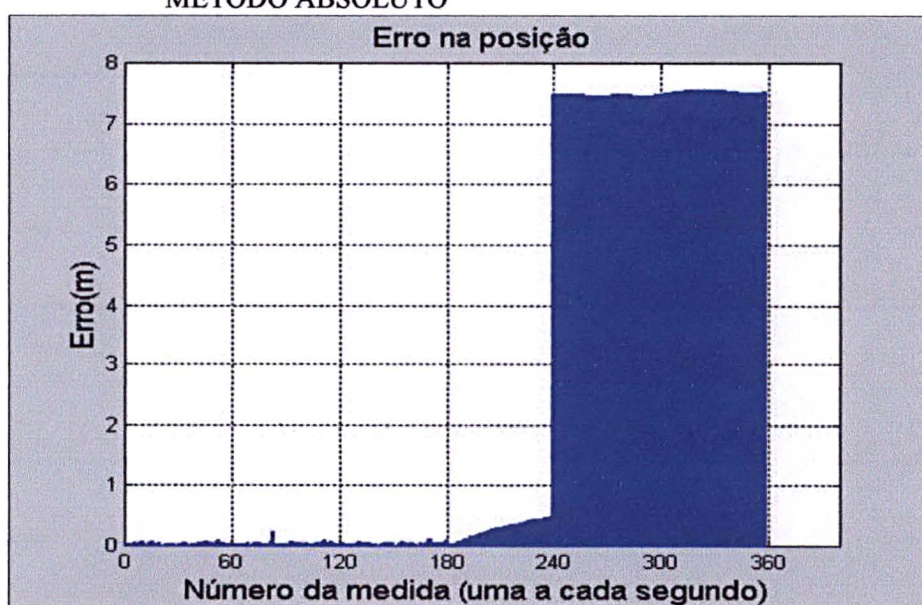
FONTE: O autor

<sup>11</sup> O desvio padrão foi calculado com auxílio da linguagem MATLAB, pela função *std*.



Na sequência, uma nova investigação foi realizada com o objetivo de se verificar os erros obtidos na posição durante a transição do método diferencial para o método absoluto. A estrutura empregada para este levantamento foi aquela ilustrada na figura 22 e descrita anteriormente. O DGPS utilizando o DGPSBRDS na condição ideal foi ativado. Após alguns minutos ele foi desativado, deixando o receptor GPS entrar no método de posicionamento absoluto. Na figura 29 visualizam-se os resultados alcançados com esta investigação. Observa-se nitidamente o momento de desativação do método diferencial (medida nº. 180), quando o erro na posição começa a aumentar, de poucos centímetros até atingir cerca de 0,5 metro. Na medida nº. 240 o receptor entra então no método absoluto. Nela o erro de posição passa de 0,5 m para 7,5 m, aproximadamente. Entre as medidas 180 e 240 realizadas neste levantamento, o receptor ainda contou com correções diferenciais geradas na última época de funcionamento do DGPSBRDS. Neste período, a idade das correções diferenciais<sup>12</sup> é crescente. O intervalo de tempo que ele continua a

FIGURA 29 – ERROS NA POSIÇÃO OBTIDOS NA TRANSIÇÃO DO LEVANTAMENTO DGPS IDEAL COM O DGPSBRDS PARA O LEVANTAMENTO PELO MÉTODO ABSOLUTO



FONTE: O autor

<sup>12</sup> Idade das correções diferenciais: intervalo de tempo transcorrido desde o instante da geração destas correções.

utilizar estas correções, após elas cessarem de serem fornecidas ao mesmo, é configurado pelo usuário, no parâmetro do receptor GPS que limita a idade (*maxage*). Este parâmetro foi configurado para 60 segundos<sup>13</sup> para todos os levantamentos. Assim, neste levantamento o receptor foi calculando as posições durante 60 segundos (entre as medidas 180 e 240) empregando as correções diferenciais fornecidas para a medida 180. Percebe-se claramente a degradação da acurácia das posições medidas neste período.

## 5.2 LEVANTAMENTOS EM CONDIÇÕES REAIS

### 5.2.1 Descrição da implementação temporária do sistema de transmissão DGPSBRDS

Visando efetuar os levantamentos com o DGPSBRDS sob condições reais, realizou-se a implantação provisória e temporária de uma estação de transmissão dos dados RDS. Firmou-se um termo de cooperação técnico/científica entre a Rádio e Televisão Educativa do Paraná – RTVE, uma autarquia do Governo do Estado do Paraná, e o Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR. Este convênio de cooperação permitiu, ao autor, a instalação do equipamento codificador/modulador RDS e anexos, junto aos transmissores desta emissora, e o uso de seu sinal para a irradiação dos dados RDS, com o DGPSBRDS. A duração deu-se por um período temporário de quinze dias, durante o mês de dezembro de 2002<sup>14</sup>, visando a realização dos levantamentos planejados. Os transmissores (de rádio e TV) desta emissora situam-se no bairro Pilarzinho<sup>15</sup>, em Curitiba (estação de referência EDUC, figura 39 (seção 5.2.3.2), e figuras 31 e 33), e a frequência de operação do transmissor de rádio em FM é de 97,1 MHz.

Para a geração das correções diferenciais, optou-se por instalar uma estação de referência temporária, junto aos transmissores da emissora. Implantou-se uma estrutura

---

<sup>13</sup> Após a realização de diversos testes conclui-se que era o melhor valor a ser empregado.

<sup>14</sup> Cópia deste termo de cooperação encontra-se no anexo 3.

<sup>15</sup> As antenas transmissoras estão localizadas num ponto alto da cidade de Curitiba, para o aumento do alcance de seu sinal (ver equação 01, seção 2.1.1).



em forma de treliça e, sobre ela, um tripé para a fixação da antena GPS geodésica. Nas figuras 30 e 31 observam-se esta estrutura e a sua instalação.

Concluída a instalação da antena GPS, foi realizado um levantamento estático relativo para a determinação de suas coordenadas geodésicas. Este levantamento teve uma duração de 1,2 horas, empregando-se uma taxa de gravação dos dados de 15 segundos, e a estação base utilizada foi a estação PARA<sup>16</sup>, situada no Centro Politécnico, próximo às dependências do LAGE (UFPR). A distância entre a estação base e a estação implantada próxima aos transmissores da RTVE é de 8,12 km. Percebe-se na figura 31 que a antena

FIGURA 30 – INSTALAÇÃO DA ANTENA GPS NA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA



<sup>16</sup> PARA: estação Paraná, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC (FORTES et al., 1998), cuja coordenadas (SIRGAS) são (IBGE, 1997, p. 59): latitude:  $-25^{\circ} 26' 54,1291'' \pm 0,0001''$ ; longitude:  $-49^{\circ} 13' 51.4368'' \pm 0,0001''$ ; altitude  $925,759 \pm 0,004$  m.

FIGURA 31 – ANTENA GPS INSTALADA NA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA



GPS foi elevada sobre a estrutura de treliça visando a minimização dos efeitos do multicaminho e das sombras (obstruções dos sinais dos satélites GPS) que poderiam ocorrer em face das edificações presentes no seu entorno.

O pós-processamento dos dados coletados foi realizado com auxílio do programa comercial *Ashtech Solutions* (MAGELLAN, 2001), pertencente ao LAGE, sendo utilizadas as portadoras L1 e L2. As coordenadas geodésicas<sup>17</sup> e os desvios padrão obtidos para a estação de referência para o DGPSBRDS foram:

- latitude: 25° 23' 34,00593" S com desvio padrão de 7 mm;

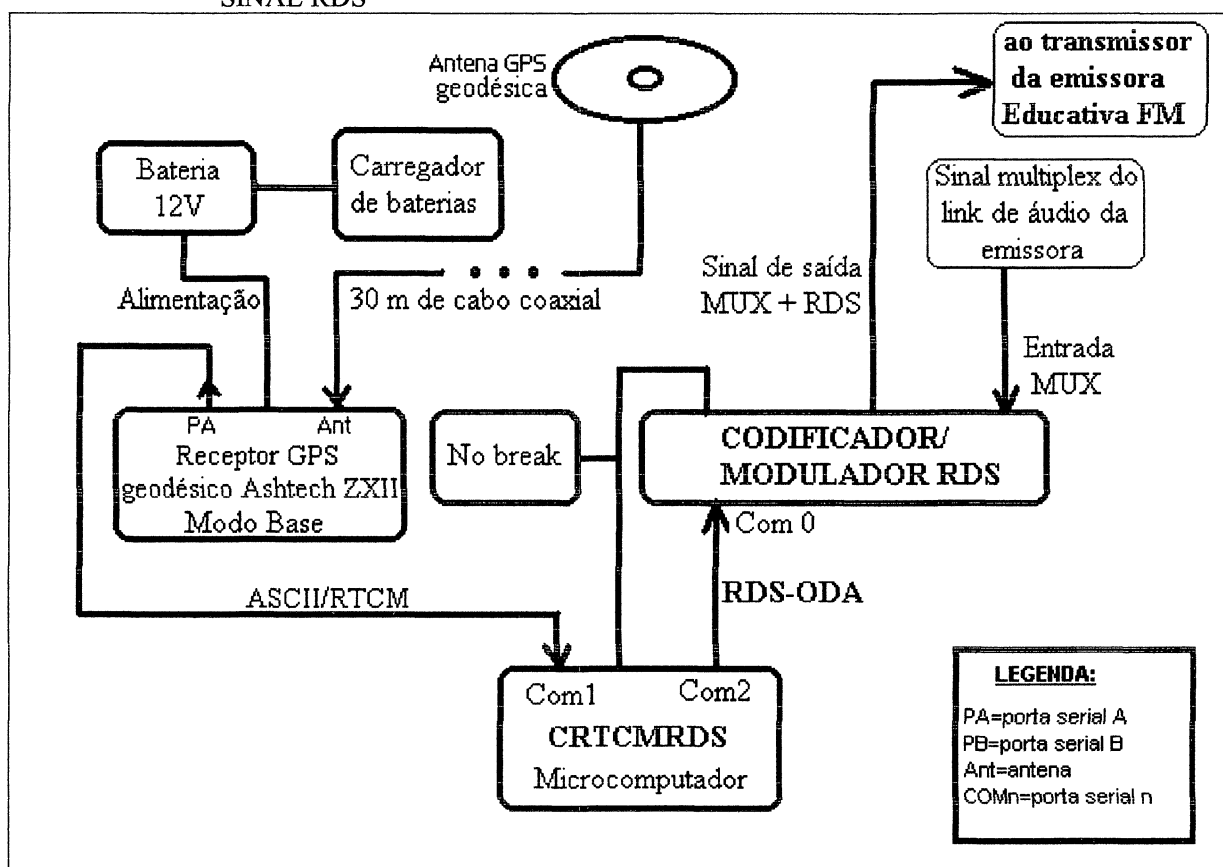
<sup>17</sup> Considerou-se o sistema de referência WGS84, utilizado pelo GPS, coincidente com o SIRGAS (ver nota de rodapé 4, seção 5.1).

- longitude: 49° 16' 59,79659" W com desvio padrão de 6 mm;
- altitude 997,771 m com desvio padrão de 13 mm.

A esta estação de referência denominou-se EDUC.

Concluída a etapa de instalação da antena da estação de referência, passou-se à etapa de instalação do sistema de codificação e transmissão do RDS para o DGPSBRDS. Nas dependências onde situam-se os transmissores da emissora RTVE foram instalados o receptor GPS (Ashtech ZXII) gerador das correções das correções diferenciais (modo base), um microcomputador, o codificador/modulador RDS e outros equipamentos de apoio, conforme o esquema mostrado na figura 32.

FIGURA 32 – ESQUEMA UTILIZADO NA EMISSORA FM PARA A TRANSMISSÃO DO SINAL RDS



FONTE: O autor



As correções diferenciais geradas pelo receptor, no formato ASCII/RTCM (mensagens RTCM tipo 1 no formato ASCII - seção 4.1), foram introduzidas no microcomputador pela Com 1 (porta de comunicação serial 1), o qual realizava o processamento pelo programa CRTCMRDS. Os quadros RDS-ODA gerados por este programa eram introduzidos no codificador/modulador RDS pela Com 0, o qual, acoplado ao sistema de áudio da emissora (entrada MUX do codificador/modulador), introduzia aqueles junto a sua programação, e posteriormente ambas as informações, “misturadas” (saída MUX + RDS do codificador/modulador), eram introduzidas no transmissor da emissora Educativa, para a radiodifusão. O equipamento transmissor utilizado foi o transmissor reserva da emissora, cuja potência é de 8 kW, inferior àquela do transmissor de uso normal, cuja potência é de 30 kW. Este estava sendo reparado.

Visando evitar problemas com interrupções de energia elétrica, colocou-se um sistema de fornecimento auxiliar (bateria e “no break”) para alimentar os equipamentos.

O codificador/modulador RDS foi adquirido pelo CPGCG para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa. Trata-se do modelo Datacaster 2, do fabricante francês Audemat<sup>18</sup>. Ele permite todas as aplicações previstas para o RDS e segue completamente as normas internacionais para este sistema (AUDEMAT, 2001).

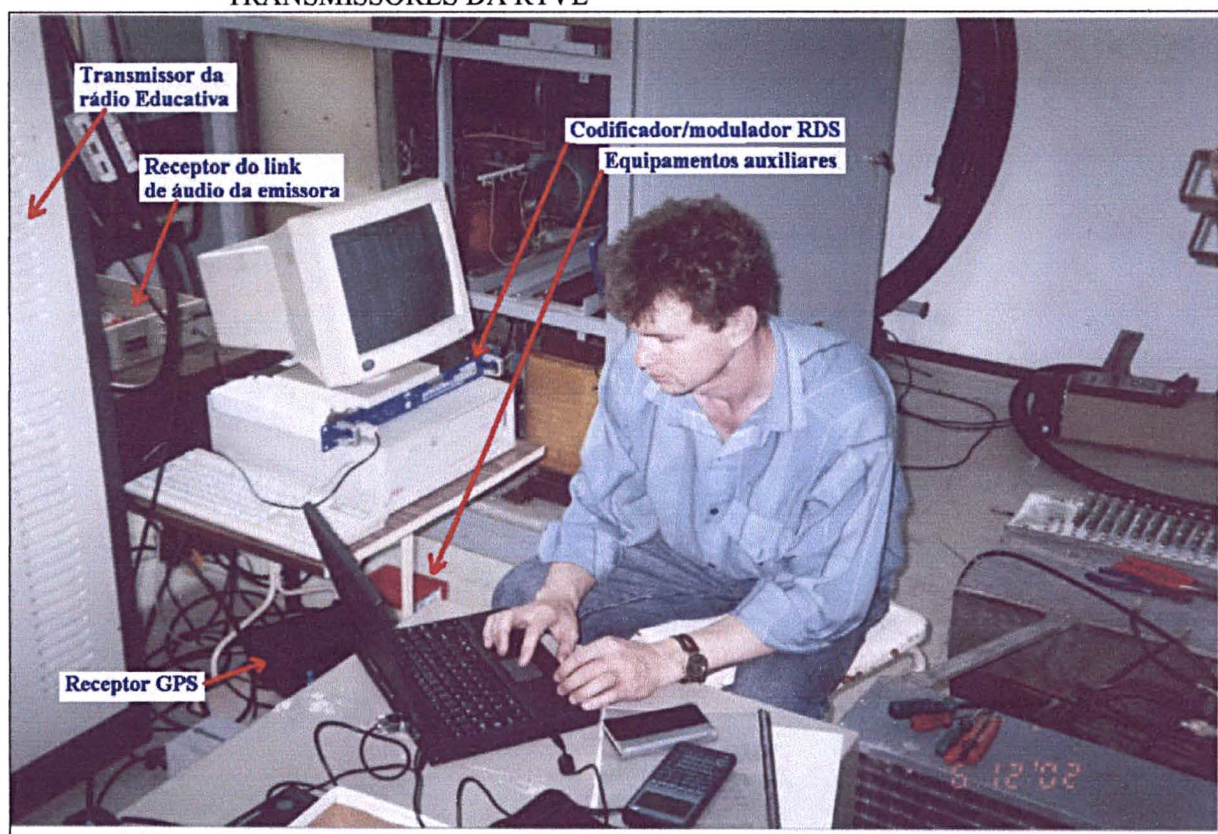
Na figura 33 observa-se uma imagem da instalação dos equipamentos junto ao transmissor da emissora, sendo configurados pelo autor. A colocação deste sistema em funcionamento foi outra tarefa difícil. Ainda não se tinha experiência com a configuração e utilização do codificador/modulador RDS, e este aprendizado teve que ser feito com a emissora “no ar”, com cautela, para que não fosse introduzida nenhuma interferência no sinal da mesma ou para que não fosse causada nenhuma interrupção acidental na sua transmissão. Nessas condições, o codificador/modulador teve que ser configurado e a função do programa CRTCMRDS que transmite os quadros ODA a ele, corretamente implementada. A implementação desta função foi a tarefa mais penosa, pois os quadros de informação têm que seguir estritamente o protocolo UECP, conforme descrito na seção 4.3. A implementação do código de redundância cíclica (CRC), presente em cada quadro

---

<sup>18</sup> Site do fabricante na internet: [www.audemat.com](http://www.audemat.com)

UECP (figuras 15, seção 4.3), foi o item que causou dificuldades na implementação da função que transmite os quadros ODA ao codificador/modulador, porque a implementação do mesmo teve que ser feita nas dependências da emissora, com todo o sistema em funcionamento.

FIGURA 33 – INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS JUNTO AOS TRANSMISSORES DA RTVE



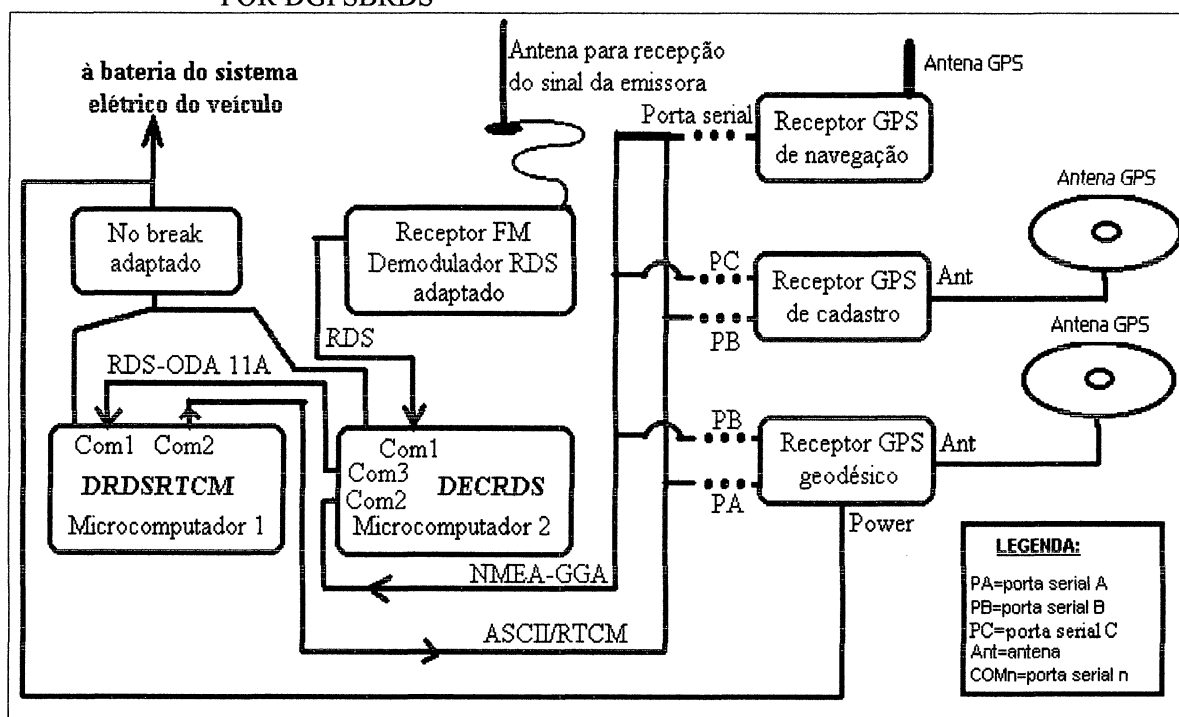
### 5.2.2 Descrição da implementação temporária do sistema móvel DGPSBRDS

Desenvolvido o DGPSBRDS e realizadas as investigações descritas na seção 5.1, em condições ideais, buscou-se novas investigações sob condições reais.

Para o desenvolvimento dos levantamentos sob estas condições, fez-se necessário montar um sistema móvel. Equipou-se um veículo do tipo utilitário com os

equipamentos necessários. Na figura 34 observa-se um esquema do sistema móvel para o DGPSBRDS e na figura 35 o veículo devidamente equipado. Inicialmente, para a recepção do sinal da emissora Educativa e a demodulação do sinal RDS, utilizou-se um rádio adquirido, pelo autor, na Alemanha, modelo ICF-M33RDS, da marca Sony. Este receptor foi adaptado visando seu interfaceamento com um microcomputador, via porta de comunicação serial RS232. O esquema elétrico do circuito dessa interface encontra-se no apêndice 2. Também adaptou-se uma antena e bateria recarregável, externos ao mesmo. A figura 36 mostra este receptor quando estava sendo adaptado. O circuito de interface serial ficou interno ao mesmo e a conexão com um microcomputador é realizada via cabo, por meio de um conector fixado ao rádio. Na figura 37 observa-se seu aspecto final, com a bateria fixada na parte traseira do mesmo e a antena externa com sua base de fixação magnética.

FIGURA 34 – ESQUEMA UTILIZADO NO VEÍCULO PARA O RASTREIO DE PONTOS POR DGPSBRDS



FONTE: O autor



FIGURA 35 – VEÍCULO EQUIPADO PARA OS LEVANTAMENTOS COM O DGPSBRDS



FIGURA 36 – ADAPTAÇÃO DO RECEPTOR FM/DEMODULADOR RDS

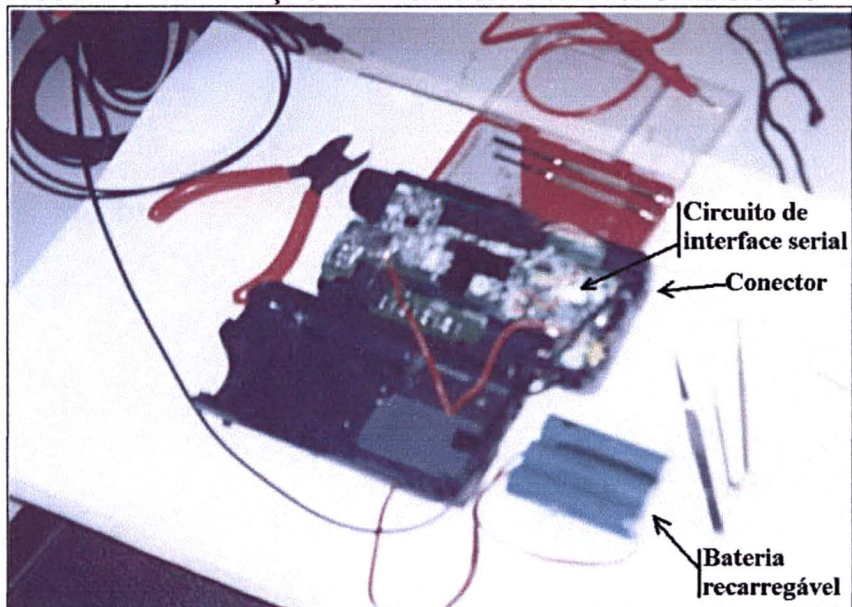
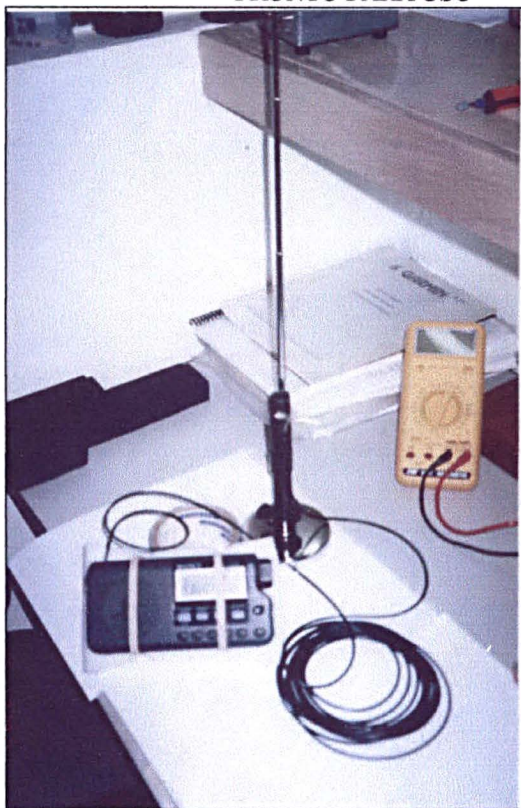




FIGURA 37 – RECEPTOR FM/DEMODULADOR RDS ADAPTADO PRONTO PARA USO



O receptor FM/demodulador RDS fornece, desse modo, os dados RDS como uma sequência de sinais binários. Estes sinais são lidos pelo microcomputador 2 através da Com 1 (figura 34), onde o programa DECRDS (seção 4.4.2) faz sua decodificação e extração do grupo ODA 11A, utilizado para a transmissão das informações de correção diferencial. Este programa fornece o quadro do grupo ODA 11A, via porta serial (Com 3), ao microcomputador 1 (Com 1). Este decodifica o quadro ODA, pelo programa DRDSRTCM (seção 4.4.2), e fornece o quadro RTCM (no formato ASCII), via outra porta serial (Com 2), ao receptor GPS usuário.

Para os levantamentos foram utilizados receptores GPS para três categorias de aplicação (figura 34), com níveis ascendentes de precisão, respectivamente: de

navegação<sup>19</sup> (Garmim III Plus), de cadastro<sup>20</sup> (Ashtech Reliance), e geodésico<sup>21</sup> (Ashtech ZXII). Cada um deles recebia as correções diferenciais e ao mesmo tempo fornecia a sentença NMEA-GGA, via porta serial, ao microcomputador 2 (Com 2), para seu registro, visando a posterior análise dos resultados alcançados. Ambos os receptores Ashtech (de cadastro e geodésico) eram capazes de realizar as medidas de posição com uso do código suavizado pela portadora. Em todos os rastreios foi utilizada uma máscara de elevação de 10 graus.

Para que o sistema pudesse funcionar em campo, foi necessário adaptar um *no break*<sup>22</sup>, para o fornecimento de energia aos microcomputadores. Fez-se uma conexão interna direta e desta à bateria do sistema elétrico do veículo. O receptor GPS geodésico também foi conectado diretamente à bateria do veículo.

### 5.2.3 Levantamentos realizados com o DGPSBRDS

Os levantamentos DGPS com o sistema em condições reais foram realizados em quatro etapas distintas. Inicialmente, realizou-se um levantamento estático de curto período, com transições entre o método diferencial (usando o DGPSBRDS) e o absoluto, visando avaliar o correto funcionamento do sistema completo e em condições reais. Posteriormente, realizaram-se levantamentos estáticos sobre marcos localizados na região de Curitiba e cujas coordenadas geodésicas são conhecidas; depois, no campus do Centro

---

<sup>19</sup> Receptor GPS de navegação: receptor de precisão inferior, capaz de receber somente uma portadora (L1) do sinal GPS e que faz uso apenas do código C/A contido (modulado) nesta portadora para o cálculo de posição.

<sup>20</sup> Receptor GPS de cadastro: receptor de precisão intermediária, capaz de receber somente uma portadora (L1) do sinal GPS e de usar o código C/A e a fase desta portadora para o cálculo de posição.

<sup>21</sup> Receptor GPS geodésico: receptor de precisão superior, capaz de receber as duas portadoras (L1 e L2) do sinal GPS e de usar o código C/A, a fase das duas portadoras e, em alguns casos, do código Y (obtido indiretamente por meio de técnicas apropriadas) para o cálculo de posição. Neste caso, o receptor utilizado (Ashtech ZXII) reconstrói o código Y pela técnica *Z tracking* (MONICO, 2000, p.44).

<sup>22</sup> *No break*: equipamento que converte a energia de baterias (em geral, de 12 VCC) para os níveis apropriados requeridos pelos equipamentos (127 VCA ou 220 VCA). Também conhecido por fonte de fornecimento ininterrupto de energia (UPS - *Uninterruptible Power Supply*). Equipamento de propriedade do autor.

Politécnico, foram realizados levantamentos cinemáticos; e finalmente no marco RM03 (figura 20) realizou-se um levantamento estático de longo período.

Estes levantamentos permitiram a realização de diferentes investigações e análises, que serão relatadas na sequência desta seção.

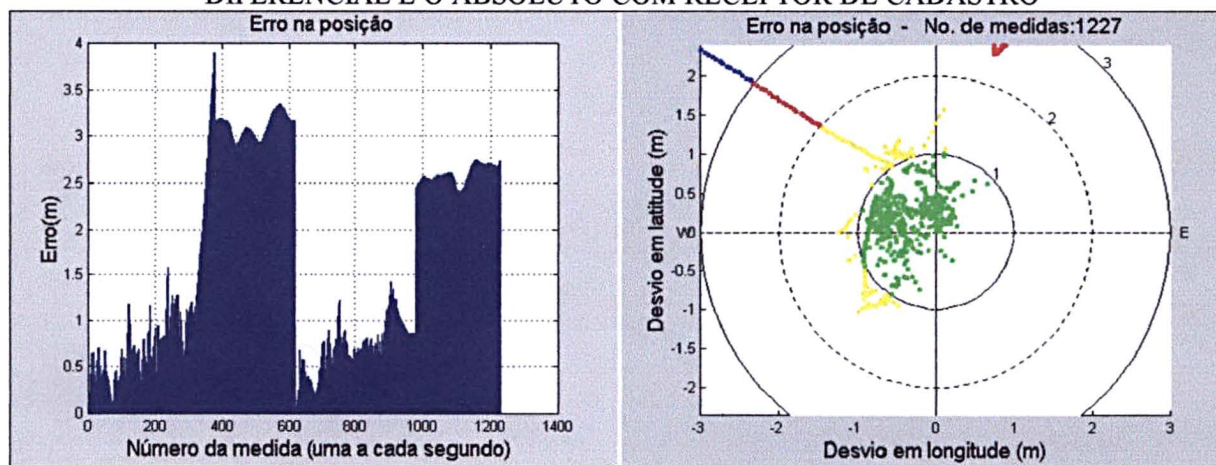
#### 5.2.3.1 Levantamento de curto período para avaliação inicial do DGPSBRDS

Visando verificar o correto funcionamento do sistema completo e em condições reais, antes de partir para os levantamentos dos marcos "em campo" (seção 5.2.3.2), realizou-se um levantamento estático de curto período no marco RM03. O marco RM03 (figura 20) situa-se nas dependências do Centro Politécnico, próximo ao LAGE (UFPR). Nele, posicionou-se a antena GPS e, com o sistema descrito nas seções anteriores (5.2.1 e 5.2.2), realizou-se o levantamento com um receptor GPS do tipo usado para cadastro (monofrequência, capaz de "observar" o código e a fase da portadora do sinal do satélite GPS), marca Ashtech Reliance. Iniciou-se o rastreo pelo método diferencial, usando o DGPSBRDS (deve-se lembrar que o DGPSBRDS fornece informações de correções diferenciais da mensagem RTCM tipo 1 somente, e não de correções da fase da portadora). Decorridos alguns minutos, o fornecimento das correções diferenciais foi interrompido (por cerca de quatro minutos), deixando-se o receptor entrar automaticamente no método absoluto, de modo semelhante ao que foi realizado na seção 5.1 (figura 29). Duas transições entre o método diferencial e o absoluto foram geradas, conforme se observa na figura 38. Nela verificam-se os resultados obtidos. Do lado esquerdo desta figura, observa-se que no método diferencial, os erros na posição situaram-se aproximadamente entre 10 cm e 1,3 m. Para o método absoluto, situaram-se entre 2,5 e 3,3 m. No lado direito da mesma figura, observa-se a deriva do erro no posicionamento, durante a transição do método diferencial para o método absoluto. Neste teste, a degradação da posição durante os dois períodos de uso das correções diferenciais "antigas" (durante os 60 segundos definidos para o "*maxage*") teve um comportamento distinto. Durante a primeira transição (aproximadamente entre as medidas 300 e 360,

figura 38), o erro de posição ultrapassou o valor do erro pelo método absoluto (pico na primeira transição). Durante a segunda transição (aproximadamente entre as medidas 900 e 960, figura 38), o erro de posição diminuiu de valor. Este fato decorre em função dos valores da RRC (calculados pelo programa DRDSRTCM - seção 4.2) contidos no último quadro RTCM fornecido ao receptor GPS. Este valores (da RRC) podem ser tais que o erro na medida da posição, durante o uso das correções diferenciais antigas, permaneça constante ou mesmo diminua (como ocorreu na segunda transição mostrada na figura 38), embora a probabilidade maior é que ele (o erro de posição) aumente, conforme se observou na figura 29 (seção 5.1).

Uma vez verificado o correto funcionamento do sistema DGPSBRDS, partiu-se para os levantamentos "em campo", iniciando-se os levantamentos estáticos de médio período, somente pelo método diferencial, com uso do DGPSBRDS, conforme será visto na próxima seção.

FIGURA 38 – RESULTADOS DE DGPSBRDS COM DUAS TRANSIÇÕES ENTRE O MODO DIFERENCIAL E O ABSOLUTO COM RECEPTOR DE CADASTRO



FONTE: O autor

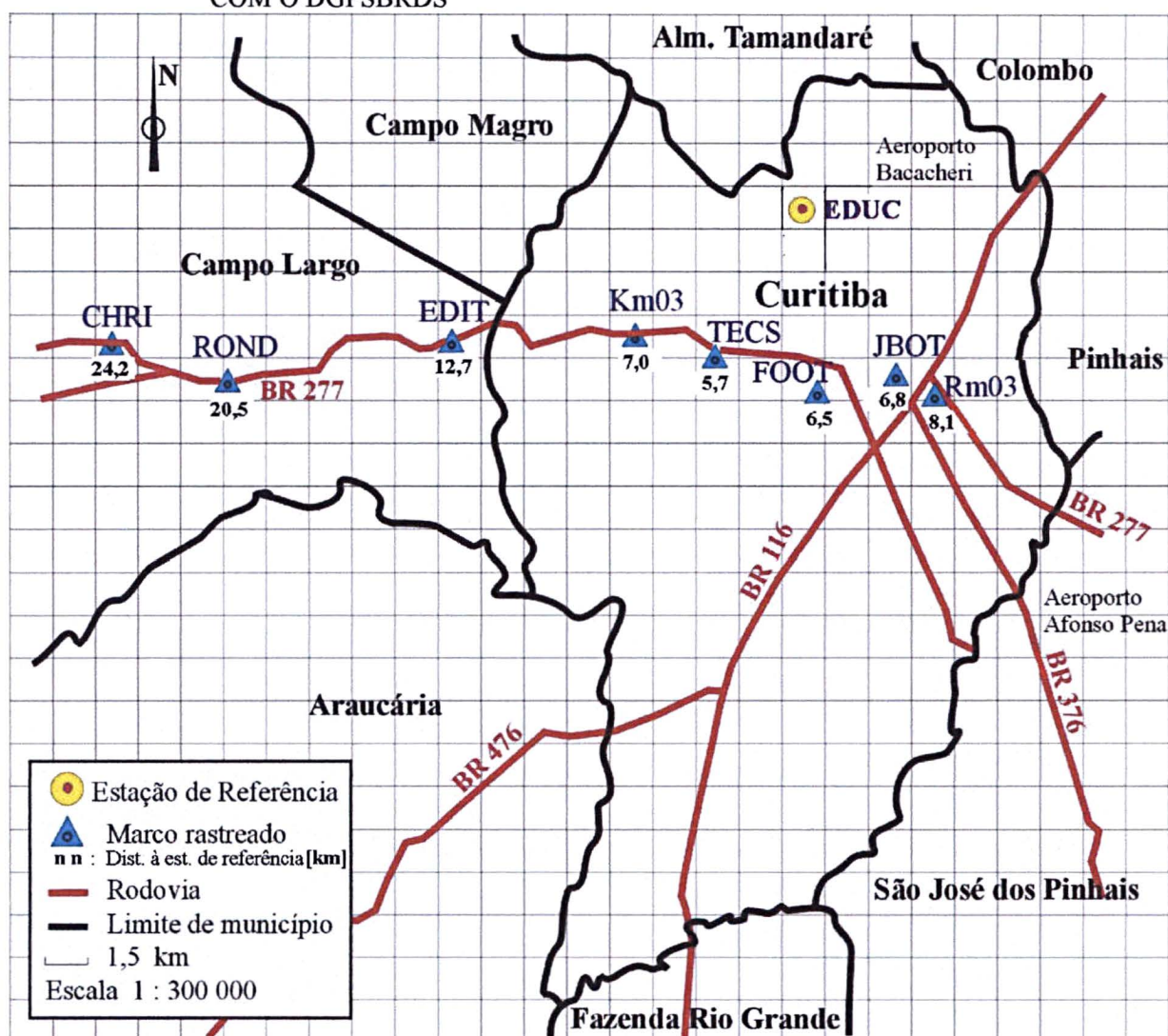
NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (=TU - 2h): 15h35 às 15h56. Data: 06.12.2002.



### 5.2.3.2 Levantamentos estáticos com o DGPSBRDS

Realizaram-se levantamentos estáticos com o sistema em oito marcos na região de Curitiba. A distribuição destes marcos está representada na figura 39, bem como a distância deles à estação de referência (EDUC) transmissora das correções diferenciais (figura 31, seção 5.2.1).

FIGURA 39 – DISTRIBUIÇÃO DOS MARCOS PARA OS LEVANTAMENTOS ESTÁTICOS COM O DGPSBRDS



FONTE: FREIBERGER Jr, 2002

NOTA: Modificado pelo autor

No quadro 14, apresentam-se as coordenadas geodésicas no sistema WGS84 dos oito marcos<sup>23</sup> (figura 39) ocupados com o DGPSBRDS.

QUADRO 14 – COORDENADAS GEODÉSICAS DOS MARCOS OCUPADOS (WGS 84)

SIGLA	DESCRIÇÃO	$\varphi$ $\sigma$ (mm)	$\lambda$ $\sigma$ (mm)	$h$ (m) $\sigma$ (mm)
EDUC	Estação de referência na emissora Educativa FM	-25° 23' 34,00593" 7	49° 16' 59,79659 6	997,771 13
RM03	LAGE - UFPR	-25° 26' 54,56850" 5	-49° 13' 52,21080" 5	923,785 5
JBOT	Jardim Botânico	-25° 26' 35,19922" 0,4	-49° 14' 41,03635" 0,5	927,986 1,1
FOOT	Escola de futebol Footbar	-25° 27' 00,70660" 0,3	-49° 16' 23,26524" 0,3	906,690 0,7
TECS	Terminal de ônibus Campina do Siqueira	-25° 26' 14,37668" 0,3	-49° 18' 37,33982" 0,3	925,247 0,8
KM03	km 3 da rodovia BR277	-25° 25' 50,84673" 0,4	-49° 20' 18,46170" 0,7	941,954 1,4
EDIT	Editora Paranaense	-25° 25' 58,54268" 1,9	-49° 24' 04,90551" 13,2	956,586 4,7
ROND	Povoado de Rondinha/Campo Largo	-25° 26' 50,57066" 1,6	-49° 28' 42,25451" 6,1	964,972 4,4
CHRI	Viaduto de acesso a ex fábrica da Chrysler	-25° 26' 07,03076" 1,9	-49° 31' 09,31012" 12,3	986,866 4,4

FONTE: PRADO (2001, p. 53 e 57)

NOTA: Adaptado pelo autor

Para estes levantamentos empregou-se a estação de referência EDUC, descrita na seção 5.2.1, e o sistema móvel descrito na seção 5.2.2, sobre cada um dos oito marcos. Conforme ilustrado na figura 34 e descrito anteriormente, foram empregados três receptores distintos. O tempo de ocupação de cada um deles em cada marco foi de aproximadamente 30 minutos.

<sup>23</sup> Os marcos utilizados foram definidos por PRADO (2001), na campanha realizada em seu trabalho de dissertação de mestrado no CPGCG. Suas coordenadas foram determinadas por levantamentos GPS estático relativo (PRADO, 2001, p. 54-57).



Na sequência, serão apresentados a descrição dos levantamentos estáticos realizados sobre cada um dos oito marcos (figura 39), as investigações realizadas e os resultados obtidos com as suas respectivas análises.

- Marco RM03

O marco RM03 (figura 20) situa-se nas dependências do Centro Politécnico, próximo ao LAGE (UFPR), sendo livre de obstruções e distando de aproximadamente 8,1 km da estação de referência EDUC. Com a implantação do DGPSBRDS, foram coletadas as posições calculadas, em tempo real, para este marco (figura 40). Posteriormente, geraram-se os gráficos visando a análise dos resultados, conforme descrito anteriormente (seção 5).

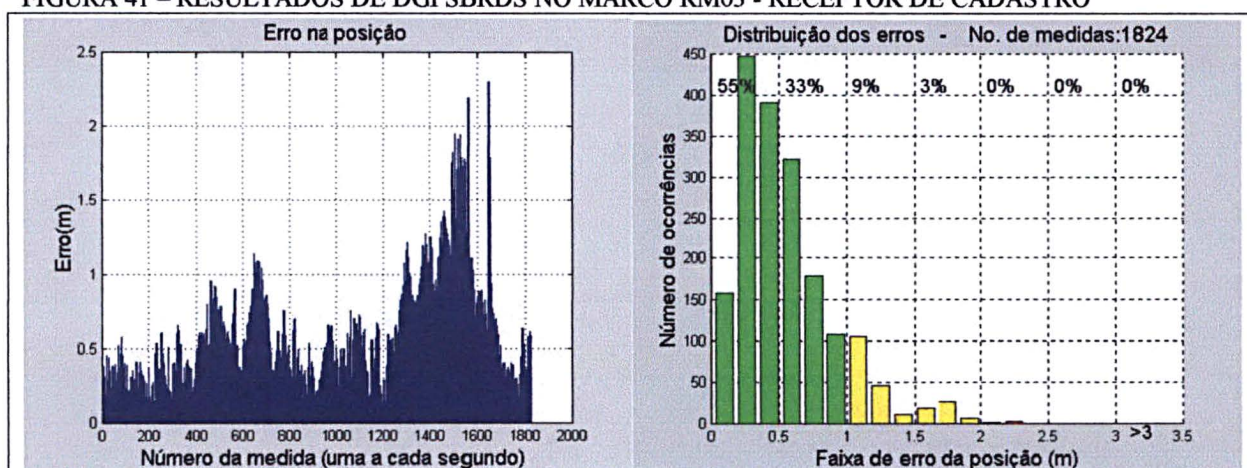
FIGURA 40 – LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO RM03



Observam-se resultados muito bons em face do sistema ser um DGPS com RTCM-mensagem tipo 1, mesmo com a presença de algumas medidas eivadas de erro grosseiro (picos espúrios no valor do erro de posição mostrado nas figuras 41 e 42). Na

figura 41, percebe-se que 88% das medidas realizadas (do total de 1824 medidas) apresentam erros de posição inferiores a 1m, para o receptor de cadastro. Para o receptor geodésico, verifica-se na figura 42 que 97% das medidas (total de 1574 medidas) realizadas apresentaram o erro de posição inferior a 1 m. O erro médio e o desvio padrão<sup>24</sup> para o receptor de cadastro foram de 0,31 m e 0,58 m, respectivamente. Já para o receptor geodésico estes valores foram de 0,31 m e 0,49 m. Observa-se que, para ambos os receptores, a frequência relativa dos erros de posição (distribuição dos erros, figuras 41 e 42) tem um aspecto de distribuição normal<sup>25</sup>.

FIGURA 41 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO RM03 - RECEPTOR DE CADASTRO



FONTE: O autor

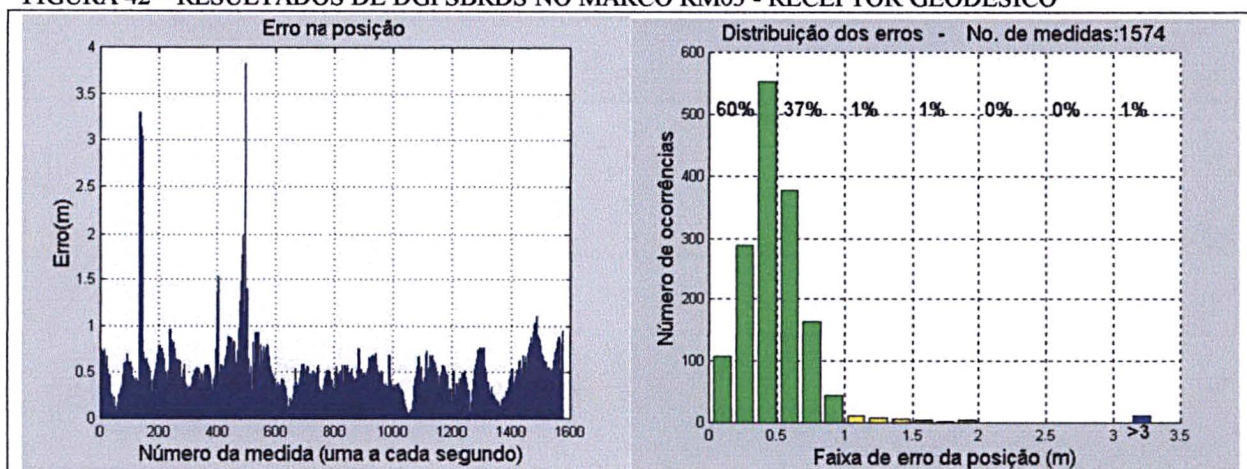
NOTA: Período do rastreamento na hora local de verão (= TU - 2h): 20h32 às 21h05. Data: 06.12.2002.

<sup>24</sup> Ao final desta análise serão fornecidas a tabela estatística e a tabela com a distribuição dos erros para estes rastreios.

<sup>25</sup> Distribuição normal: distribuição estatística de uma variável aleatória (neste caso, a frequência relativa dos erros de posição), cujo aspecto, dado pela função  $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$  (onde:  $\sigma$  = desvio padrão da distribuição;  $\mu$  = média dos valores das variáveis aleatórias; e  $x$  = valor de cada variável aleatória), tem uma forma aproximada que lembra um sino de "boca" para baixo. O modelo de distribuição normal descreve a probabilidade de ocorrência da maioria dos fenômenos naturais. A descrição e o modelamento da distribuição normal se encontra em praticamente todos os livros de estatística ou correlatos. Cita-se, por exemplo, GEMAEL (1994).



FIGURA 42 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO RM03 - RECEPTOR GEODÉSICO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreamento na hora local de verão (= TU - 2h): 14h11 às 14h36. Data: 06.12.2002.

O arquivo contendo os dados do levantamento DGPSBRDS com o receptor de navegação não foi gravado por descuido de operação, portanto perderam-se seus dados para este marco. Infelizmente não houve condições de se refazer este levantamento.

- Marco JBOT

Na figura 43 observa-se o sistema móvel posicionado próximo ao marco JBOT, estando a antena do receptor FM colocada sobre ele e a do receptor GPS de cadastro devidamente posicionada sobre este marco. Não há obstruções relevantes nas proximidades deste marco.

Ele localiza-se no Jardim Botânico e dista de aproximadamente 6,8 km da estação de referência EDUC.

As figuras 44, 45 e 46 apresentam os resultados com o DGPSBRDS obtidos neste marco com os receptores de navegação, de cadastro e geodésico, respectivamente.

Percebe-se que 81% das medidas realizadas tiveram erros de posição inferiores a 1,5 m para o receptor de cadastro (figura 45) e que 92% delas foram inferiores a 1,5 m

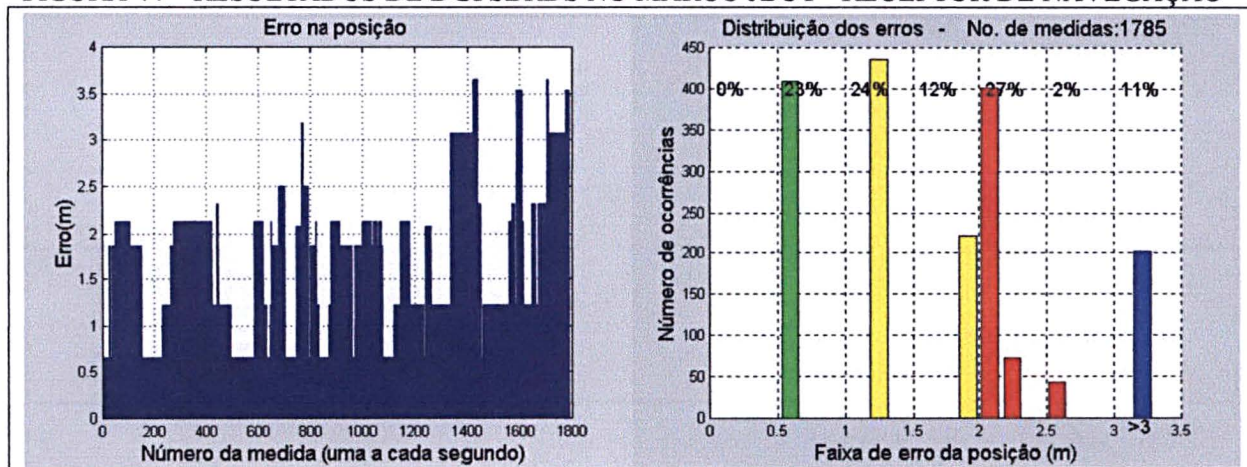
FIGURA 43 – LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO JBOT



para o receptor geodésico (figura 46). Eles apresentam uma distribuição aproximadamente normal dos erros. Contudo para o receptor de navegação a distribuição dos erros ficou entre 0,5 e 2,3 m para a maioria das medidas realizadas. O erro médio e desvio padrão para os receptores de navegação, de cadastro e geodésico foram, respectivamente, de  $0,72 \pm 1,70$  m;  $0,71 \pm 0,95$  m e  $0,39 \pm 0,96$  m. Deve-se observar que o receptor GPS de navegação utilizado (Garmin III Plus) fornece, na mensagem NMEA-GGA, a precisão de apenas 3 dígitos de minuto decimal, enquanto os receptores de cadastro e geodésico fornecem 5 dígitos de minuto decimal. Por esse motivo, as coordenadas fornecidas pelo receptor de navegação têm discretização maior, ou seja, a mudança de uma unidade no seu terceiro dígito de minuto decimal (a menor diferença de



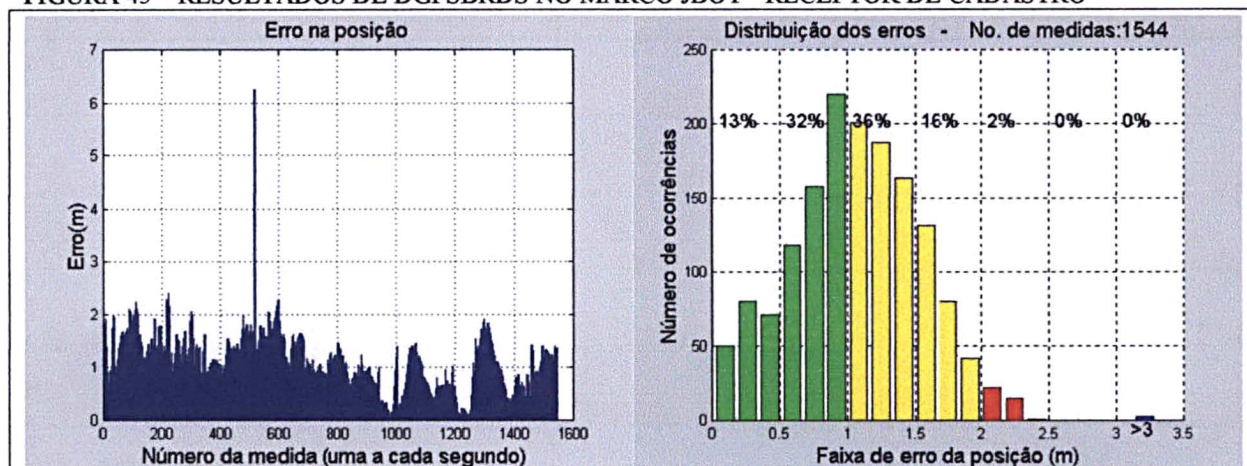
FIGURA 44 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO JBOT - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreamento na hora local de verão (= TU - 2h): 11h11 às 11h42. Data: 07.12.2002.

FIGURA 45 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO JBOT - RECEPTOR DE CADASTRO



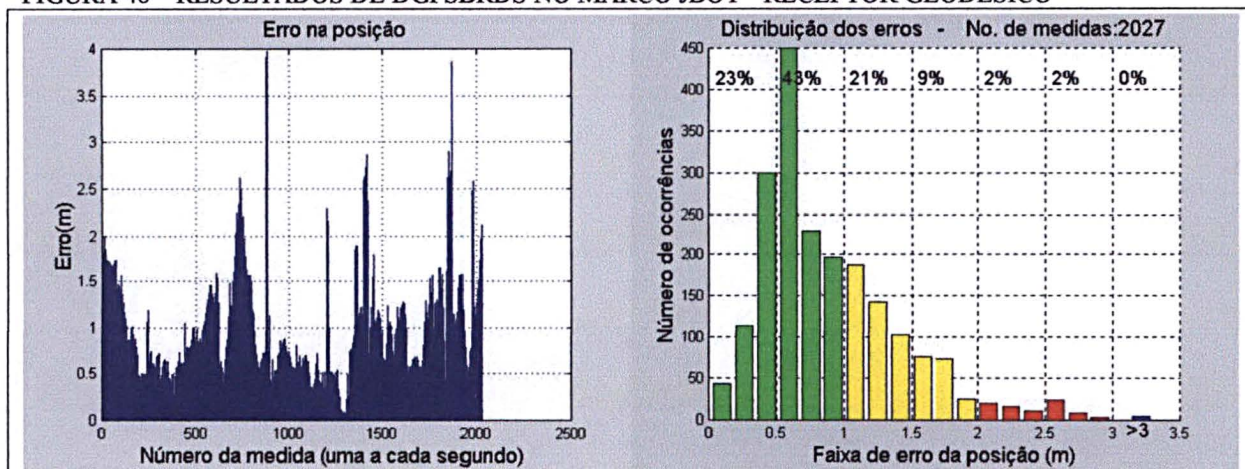
FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreamento na hora local de verão (= TU - 2h): 10h31 às 11h57. Data: 07.12.2002.

valor que ele consegue fornecer) causa um “salto” na coordenada, conforme pode ser observado nos gráficos ilustrados na figura 44. Para os receptores de cadastro e geodésico, essa discretização (ou salto) é menor. Cabe observar ainda que os levantamentos com o receptor de navegação foram realizados com o mesmo posicionado sobre o tripé, conforme pode ser observado nas figuras referentes ao levantamento nos marcos TECS (figura 51) e EDIT (figura 59). Estas observações também cabem para os outros levantamentos realizados.



FIGURA 46 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO JBOT - RECEPTOR GEODÉSICO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (= TU - 2h): 12h05 às 12h40. Data: 07.12.2002.

Segundo MONICO (2000, p. 220), a precisão do DGPS se situa entre 1 e 5 m. Consta-se que os resultados alcançados estão dentro do preconizado para o DGPS.

- Marco FOOT

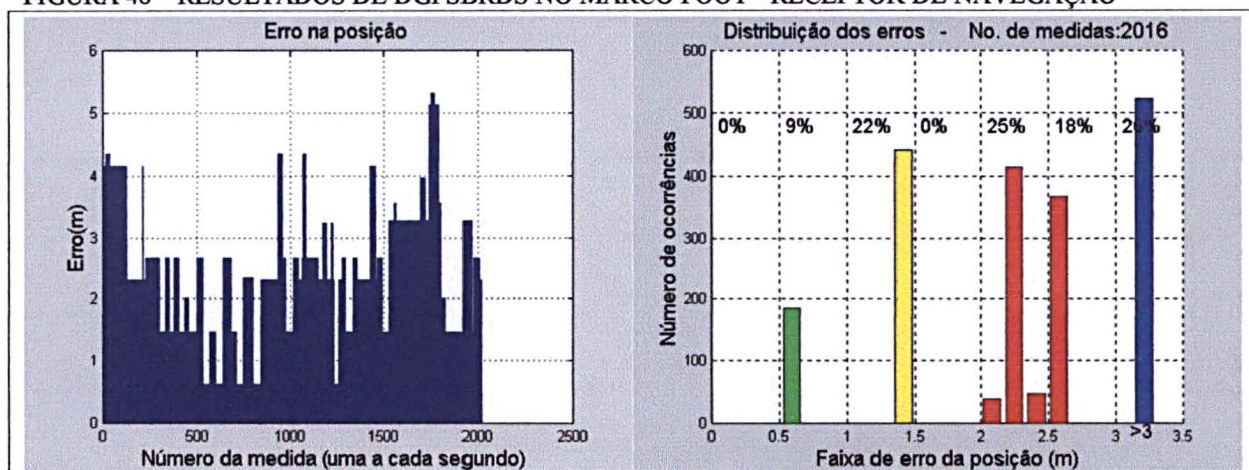
O marco FOOT, que dista aproximadamente 6,5 km da estação de referência EDUC, está ilustrado na figura 47. Nela observa-se a antena GPS do receptor geodésico posicionada sobre o marco com o sistema móvel próximo a ele. O mesmo é parcialmente obstruído por um muro próximo e situa-se sob a rede de energia elétrica.

Observando-se as figuras 48, 49 e 50 percebe-se inicialmente que os resultados foram variados. Para o receptor de navegação, 69% das medidas realizadas (de um total de 2016) apresentaram erros de posição acima de 2,0 m (figura 48). Na figura 49 verifica-se que o erro de posição em 87% das medidas realizadas com o receptor de cadastro foi inferior a 1,5 m, com distribuição aproximadamente normal, e não houve nenhum erro espúrio. Já para o receptor geodésico (figura 50), percebe-se que ocorreu algum problema durante aproximadamente a segunda metade do levantamento, e por isso 42% dos erros tiveram seus valores maiores que 3 m. Observou-se que o receptor geodésico tinha, em

FIGURA 47 – LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO FOOT



FIGURA 48 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO FOOT - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO



FONTE: O autor

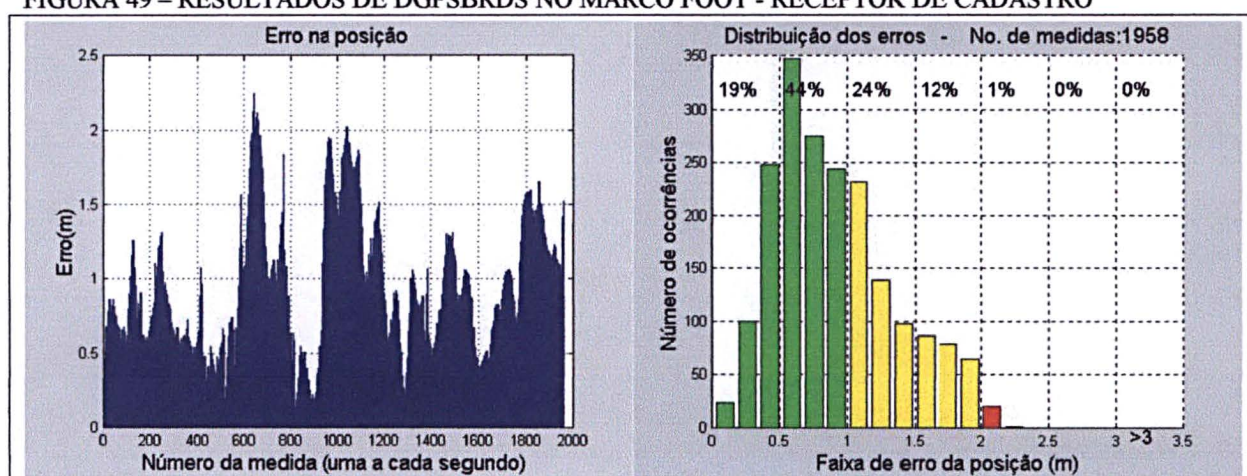
NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (= TU - 2h): 11h17 às 11h50. Data: 08.12.2002.

alguns momentos, um comportamento errático. Embora o autor tenha feito uma manutenção geral nas conexões externas antes dos levantamentos, acredita-se que pode ter havido problemas nos cabos e/ou nas conexões devido à idade do equipamento. Também há uma grande probabilidade de que os problemas com este receptor tenham sido causados por ruído na alimentação do mesmo, uma vez ela deu-se pelo sistema elétrico do veículo (figura 34, seção 5.2.2) e este tinha que permanecer com seu motor ligado durante aproximadamente 1/3 do período de levantamentos para a recarga das



baterias. Infelizmente não foram anotados os períodos durante os quais o veículo permaneceu ligado, para se fazer a correlação com os problemas com este receptor. Por outro lado, o receptor de cadastro, seminovo e com alimentação (bateria) exclusiva, apresentou resultados bons e “estáveis” em todos os levantamentos. O erro médio e desvio padrão para os receptores de navegação, de cadastro e geodésico foram de  $1,71 \pm 2,00$  m;  $0,62 \pm 0,80$  m e  $2,10 \pm 2,23$  m, respectivamente.

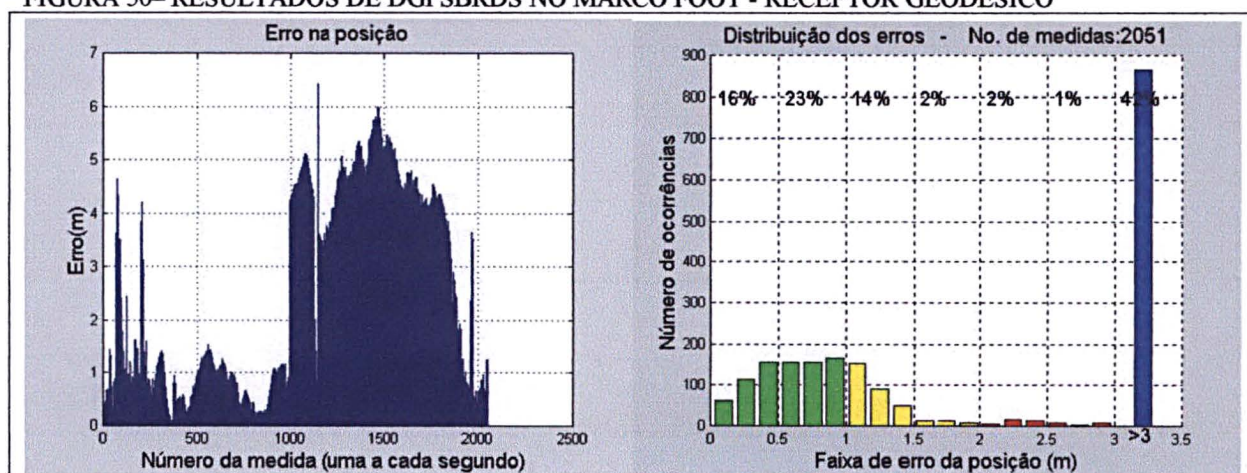
FIGURA 49 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO FOOT - RECEPTOR DE CADASTRO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (= TU - 2h): 10h28 às 11h01. Data: 08.12.2002.

FIGURA 50 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO FOOT - RECEPTOR GEODÉSICO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (= TU - 2h): 09h41 às 10h15. Data: 08.12.2002.

- Marco TECS

O marco TECS localiza-se próximo ao terminal de ônibus Campina do Siqueira e dista de aproximadamente 5,7 km da estação de referência EDUC. Na figura 51, observa-se o sistema móvel posicionado próximo a ele, estando o receptor GPS de navegação posicionado sobre o mesmo. É um marco relativamente livre de obstruções próximas, havendo, entretanto, um morro na imediação que pode obstruir parcialmente o sinal do GPS.

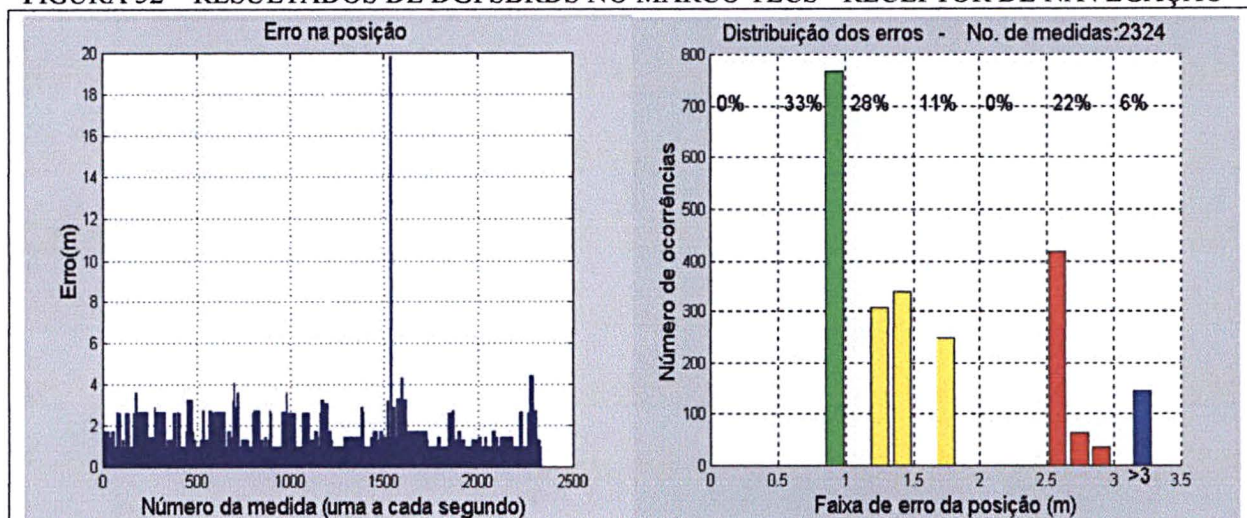
Neste marco obtiveram-se bons resultados com o DGPSBRDS, apesar da ocorrência de alguns erros espúrios. Com o receptor GPS de navegação obteve-se 72% das medidas realizadas (de um total de 2324) com erros de posição entre 0,5 e 2,0 m (figura 52) e com o receptor de cadastro 93% delas (do total de 1909) apresentaram erros inferiores a 1,5 m (figura 53). Com o receptor geodésico, de um total de 2026 medidas, 92% delas apresentaram-se com erros de posição inferiores a 1,5 m (figura 54). Para os receptores geodésico e de cadastro, a distribuição dos erros de posição tende para a distribuição normal. O erro médio e o desvio padrão para os receptores de navegação, de cadastro e geodésico foram, respectivamente, de  $0,37 \pm 1,92$  m;  $0,72 \pm 1,13$  m e  $0,38 \pm 1,22$  m.

FIGURA 51 – LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO TECS





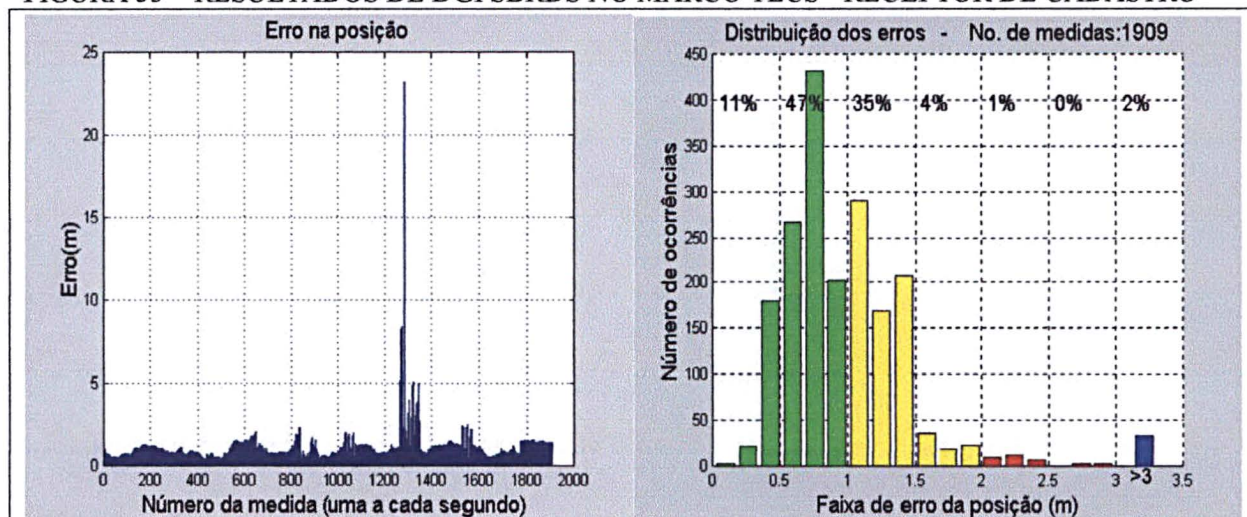
FIGURA 52 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO TECS - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (= TU - 2h): 13h51 às 14h29. Data: 08.12.2002.

FIGURA 53 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO TECS - RECEPTOR DE CADASTRO

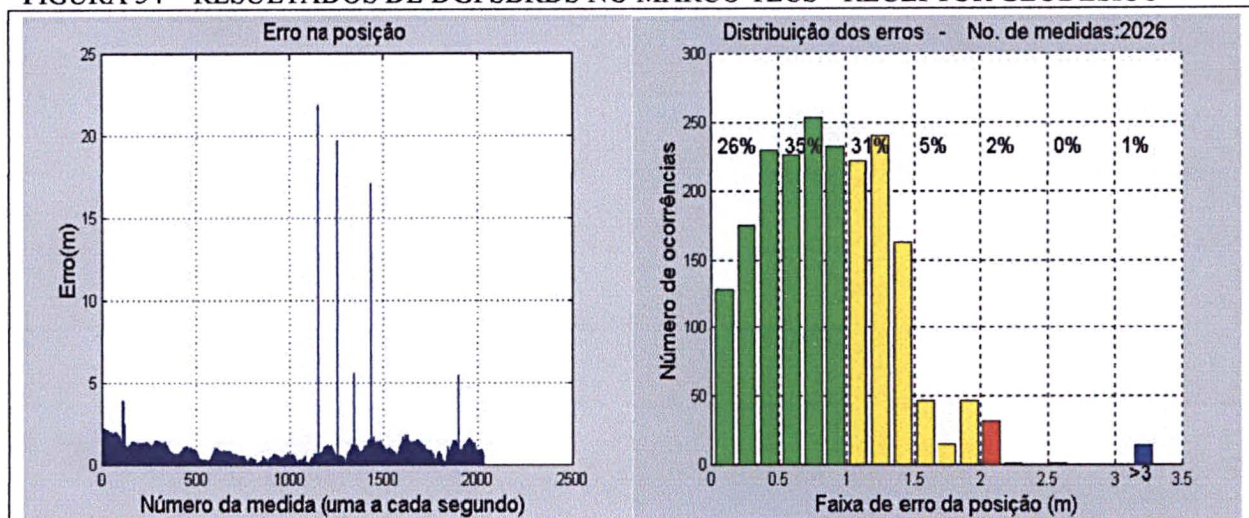


FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (= TU - 2h): 14h38 às 15h09. Data: 08.12.2002.



FIGURA 54 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO TECS - RECEPTOR GEODÉSICO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (= TU - 2h): 15h15 às 15h49. Data: 08.12.2002.

- Marco KM03

Na figura 55, observa-se o sistema móvel posicionado próximo ao marco KM03, estando a antena GPS devidamente posicionada sobre este marco. Ele localiza-se ao lado da rodovia BR277 (sentido Campo Largo - Curitiba - figura 39) e dista de aproximadamente 7,0 km da estação de referência EDUC. Apesar dele ser relativamente desobstruído, fica sob a rede de energia elétrica.

No marco KM03 houve menos ocorrências de erros espúrios, conforme pode se observar nas figuras 56, 57 e 58. Para o receptor de navegação, obtiveram-se resultados insatisfatórios, com 45% das medidas apresentando erros de posição maiores que 3,0 m (figura 56). Já o receptor de cadastro forneceu 99% das medidas realizadas (do total de 1693) com erros de posição abaixo de 1,5 m (figura 57), e o geodésico com 67% de suas medidas realizadas (do total de 1664) com erros de posição inferiores a 1,5 m (figura 58). Observa-se que, do mesmo modo que para o marco FOOT, não houve nenhum erro espúrio no levantamento do receptor de cadastro. Percebe-se que os erros de posição para o receptor geodésico apresentam uma distribuição normal, ocorrendo o mesmo para o receptor de cadastro. O erro médio e desvio padrão para os receptores de navegação, de

cadastro e geodésico foram, respectivamente, de  $1,64 \pm 3,88$  m;  $0,26 \pm 0,64$  m e  $1,16 \pm 1,08$  m.

FIGURA 55 – LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO KM03

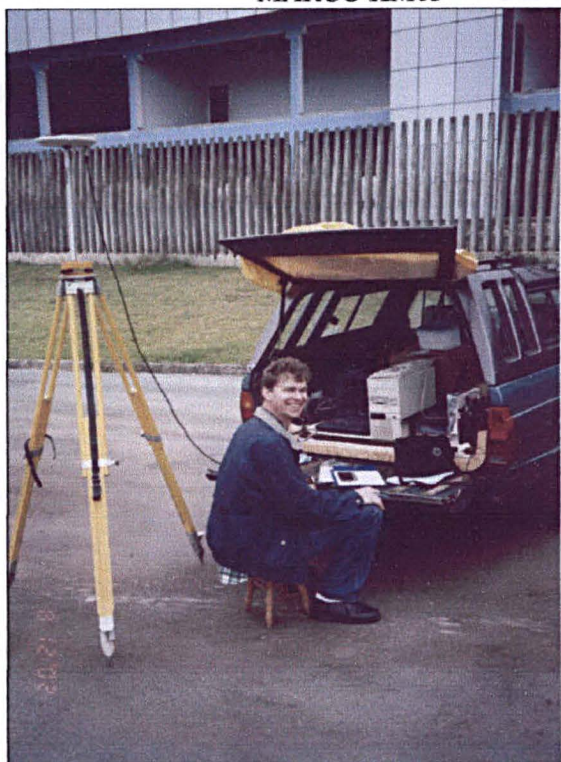
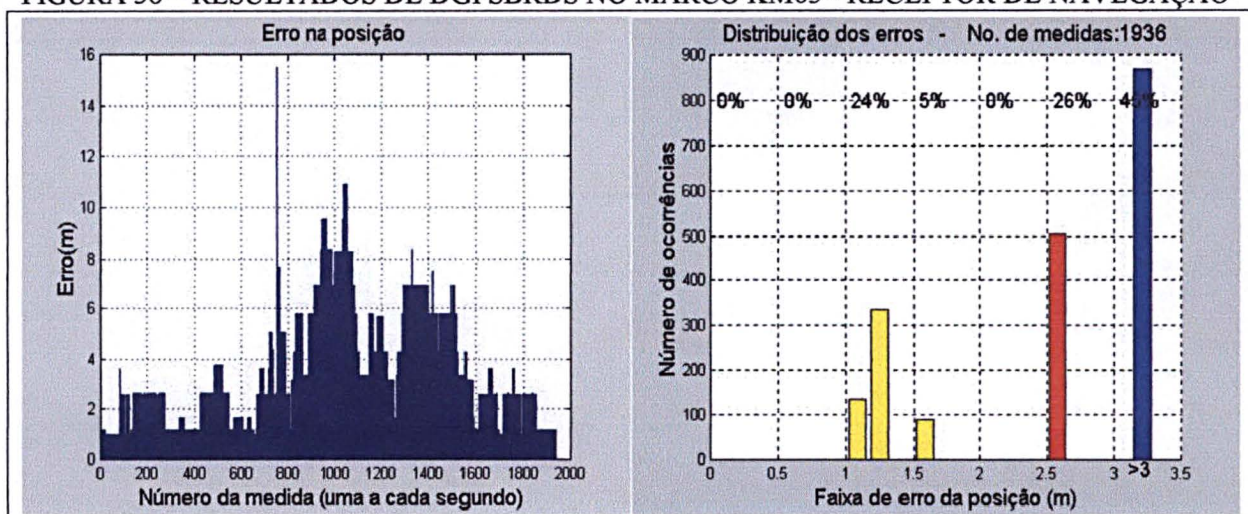


FIGURA 56 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO KM03 - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO

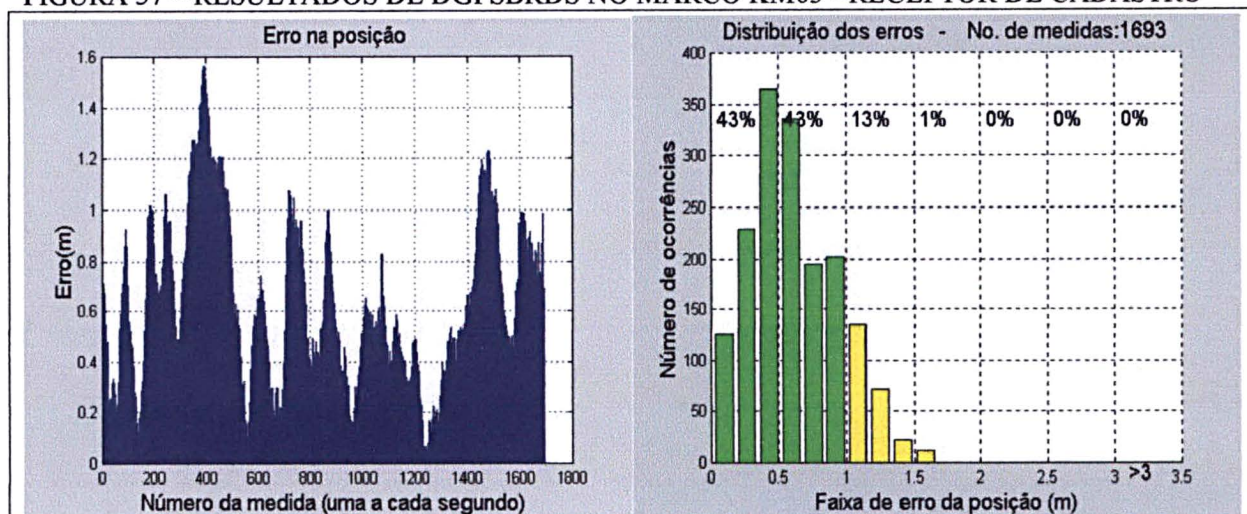


FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (= TU - 2h): 17h48 às 18h20. Data: 08.12.2002.



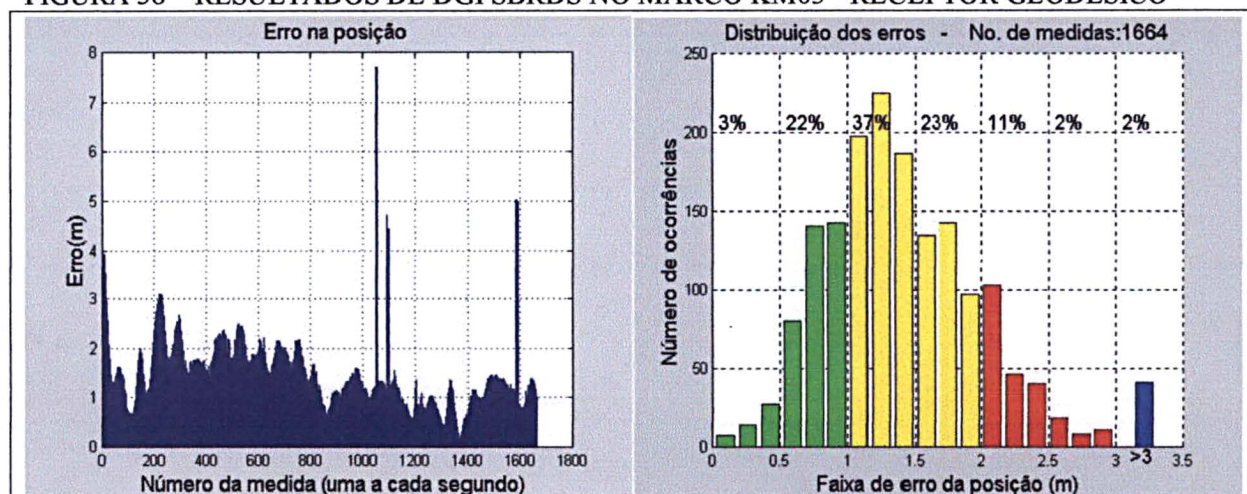
FIGURA 57 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO KM03 - RECEPTOR DE CADASTRO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (= TU - 2h): 17h08 às 17h37. Data: 08.12.2002.

FIGURA 58 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO KM03 - RECEPTOR GEODÉSICO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (= TU - 2h): 16h20 às 16h48. Data: 08.12.2002.

- Marco EDIT

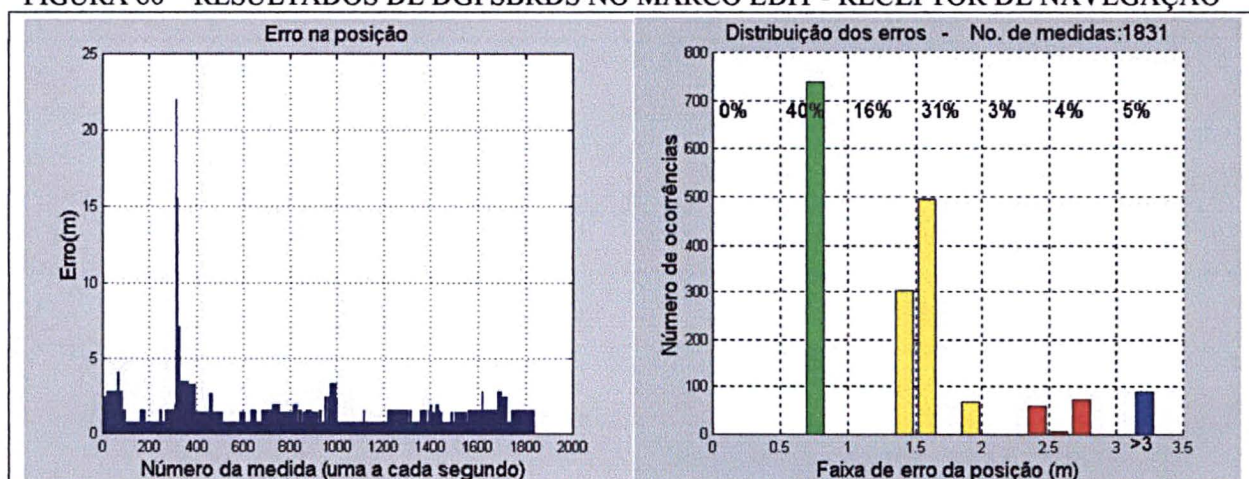
O marco EDIT localiza-se em frente à Editora Paranaense (BR 277) e dista de aproximadamente 12,7 km da estação de referência EDUC. Na figura 59 observa-se o sistema móvel posicionado próximo a ele, estando o receptor GPS de navegação posicionado sobre o mesmo. É um marco relativamente livre de obstruções.

FIGURA 59 – LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO EDIT



No marco EDIT, obtiveram-se resultados de boa qualidade para o receptor de navegação e de cadastro, e de qualidade regular para o geodésico, este com várias “rajadas” de erros espúrios (figura 62). O receptor de navegação forneceu 87% das medidas realizadas (do total de 1831) com erros de posição inferiores a 2,0 m (figura 60). O de cadastro, com apenas 2 ou 3 medidas com erros espúrios, forneceu 90% das medidas realizadas (do total de 1985) com erros de posição inferiores a 1,0 m (figura 61). Da análise da figura 62, constata-se que o receptor geodésico apresentou, devido aos

FIGURA 60 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO EDIT - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO

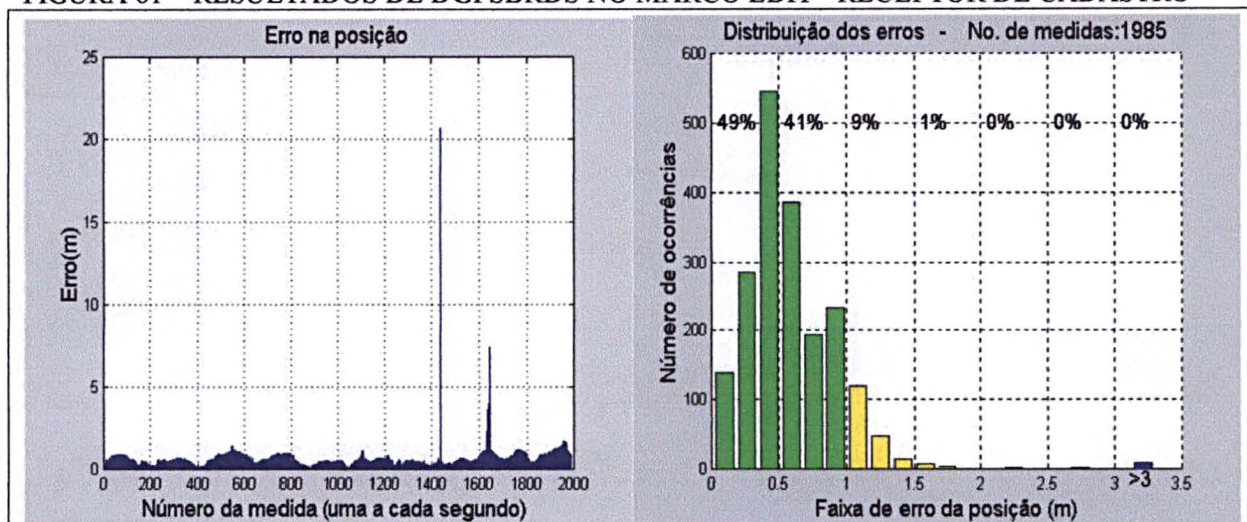


FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (= TU - 2h): 18h45 às 19h15. Data: 08.12.2002.



FIGURA 61 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO EDIT - RECEPTOR DE CADASTRO

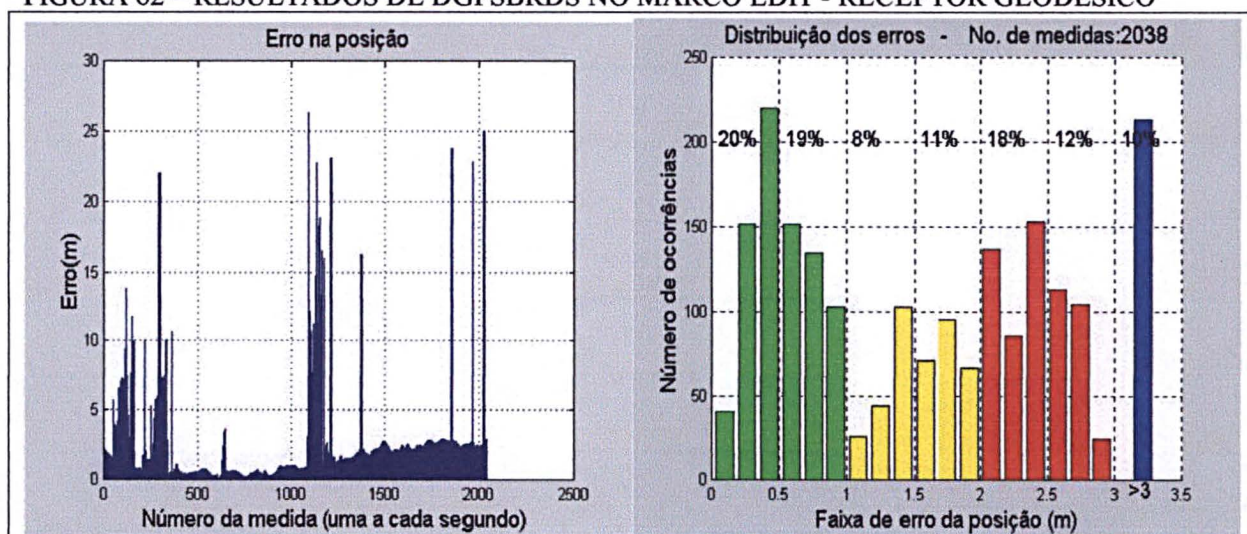


FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreamento na hora local de verão (= TU - 2h): 19h23 às 19h55. Data: 08.12.2002.

erros espúrios, 10% das medidas (do total de 2038) com erros de posição superiores a 3 m, e o restante delas com erros de posição distribuídos entre 0 e 3 m. Somente a distribuição dos erros para o receptor de cadastro atendeu a distribuição normal. O erro médio e desvio padrão para os receptores de navegação, de cadastro e geodésico foram, respectivamente, de  $0,28 \pm 1,68$  m;  $0,18 \pm 0,83$  m e  $0,92 \pm 3,59$  m.

FIGURA 62 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO EDIT - RECEPTOR GEODÉSICO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreamento na hora local de verão (= TU - 2h): 20h05 às 20h38. Data: 08.12.2002.



- Marco ROND

O marco ROND encontra-se à beira da BR277, numa localidade pertencente ao município de Campo Largo, denominada Rondinha. Ele dista de aproximadamente 20,5 km da estação de referência EDUC. É livre de obstruções, mas também fica sob a rede de energia elétrica. Na figura 63 observa-se o sistema móvel posicionado próximo ao marco, estando a antena do receptor Ashtech Reliance devidamente posicionada sobre o mesmo.

No marco ROND, obtiveram-se resultados variados. Percebe-se que o receptor geodésico novamente apresentou problemas (figura 66, a partir da medida 900) e vários erros espúrios. Observa-se que ele apresentou 52% de suas medidas realizadas (do total de 1996) com erros de posição superiores a 3 m. Com o receptor de navegação, 89% das medidas realizadas (do total de 2023) apresentaram erros de posição entre 0,5 e 2,5 m (figura 64), e com o de cadastro obteve-se 86% das medidas realizadas (do total de 1750) com erros inferiores a 1,5 m (figura 65). Novamente, somente o receptor de cadastro obteve a distribuição dos erros aproximadamente normal. O erro médio e desvio padrão para os receptores de navegação, de cadastro e geodésico foram, respectivamente, de  $0,73 \pm 1,79$  m;  $0,62 \pm 0,82$  m e  $2,25 \pm 2,72$  m.

FIGURA 63 – LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO ROND

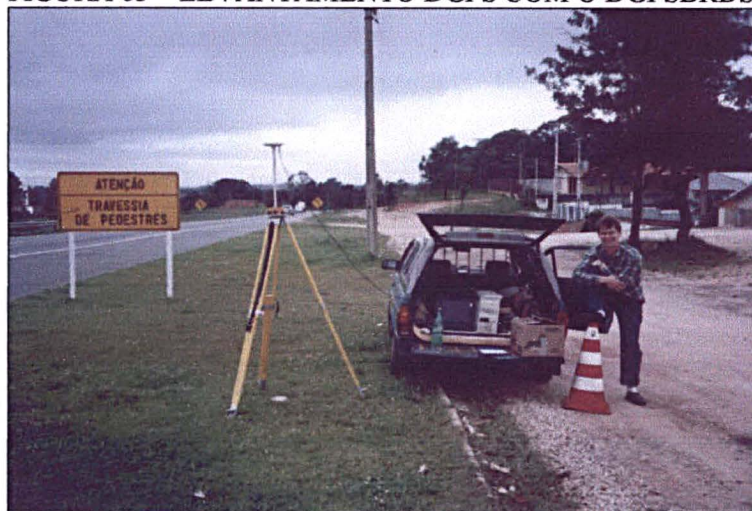
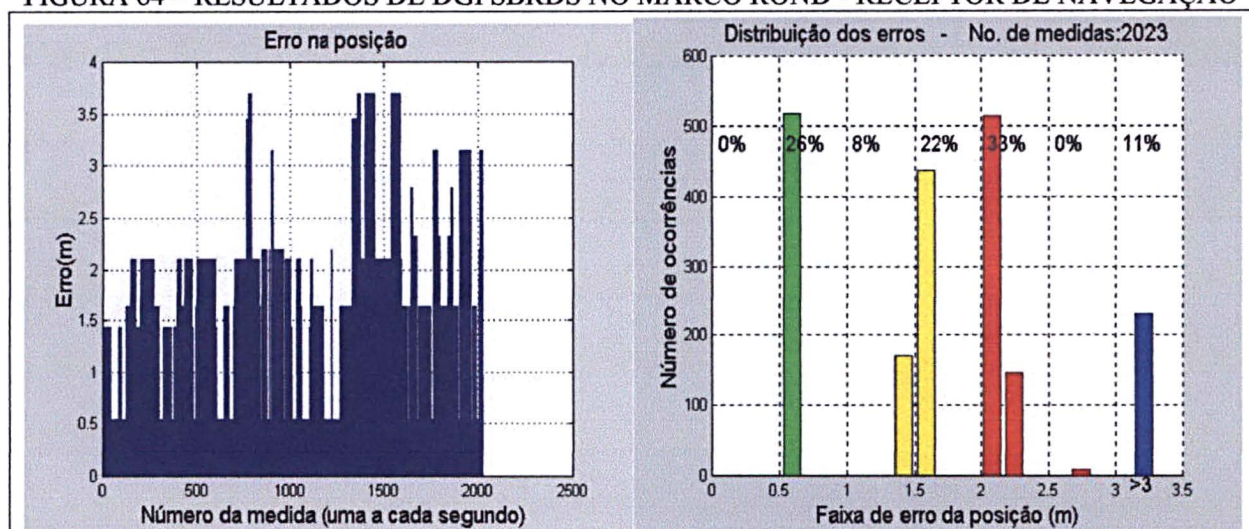


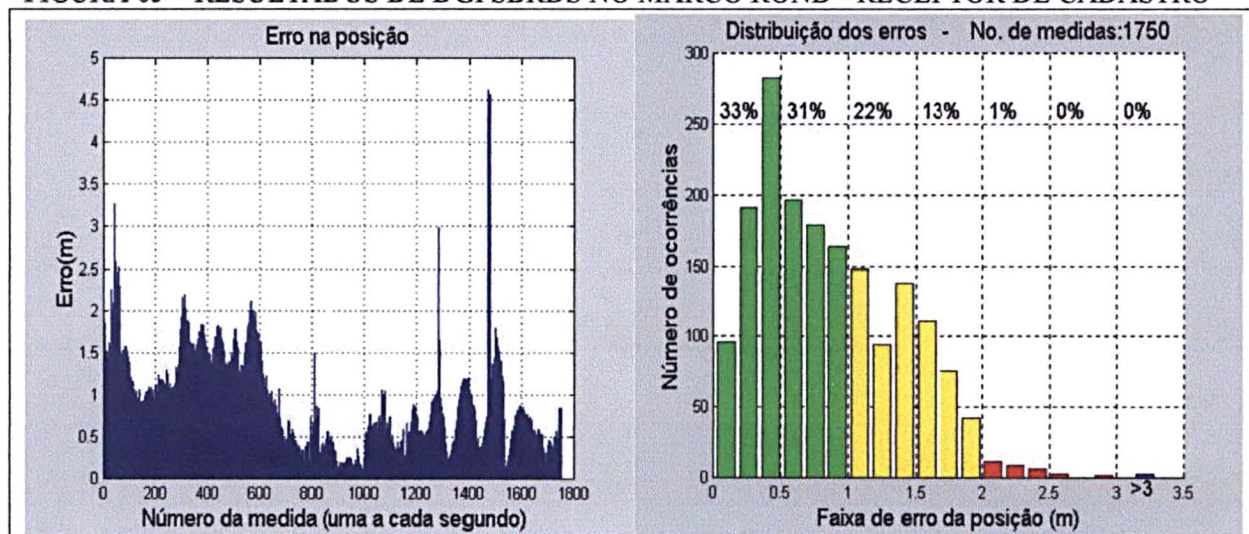
FIGURA 64 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO ROND - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreamento na hora local de verão (= TU - 2h): 12h30 às 13h02. Data: 09.12.2002.

FIGURA 65 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO ROND - RECEPTOR DE CADASTRO

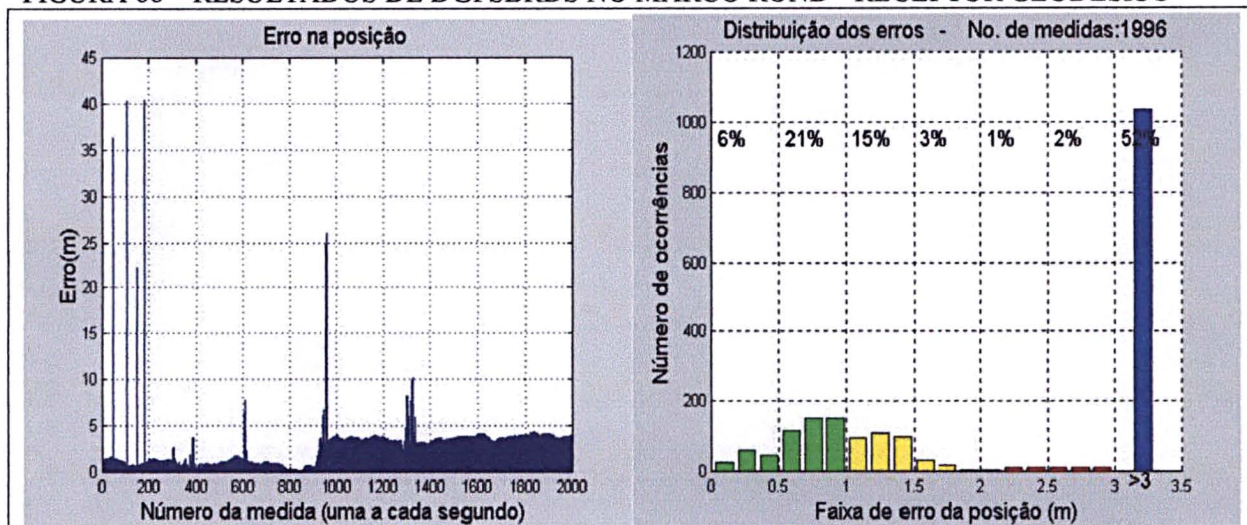


FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreamento na hora local de verão (= TU - 2h): 13h10 às 13h39. Data: 09.12.2002.



FIGURA 66 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO ROND - RECEPTOR GEODÉSICO



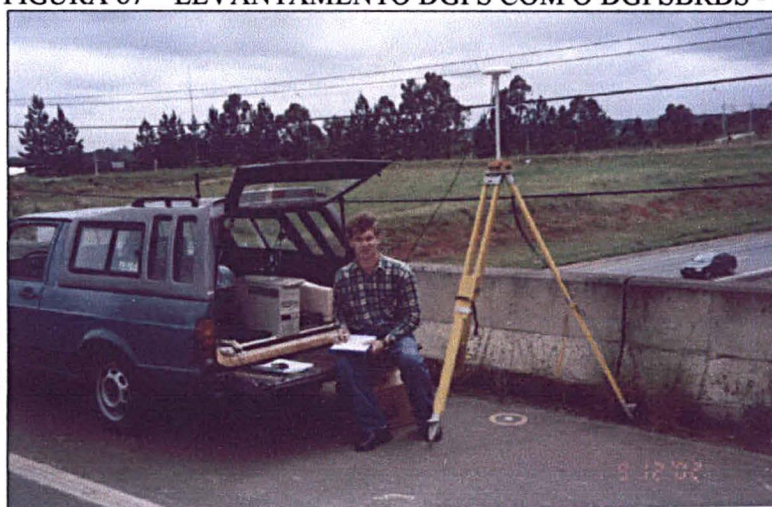
FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreo na hora local de verão (= TU - 2h): 13h46 às 13h20. Data: 09.12.2002.

- Marco CHRI

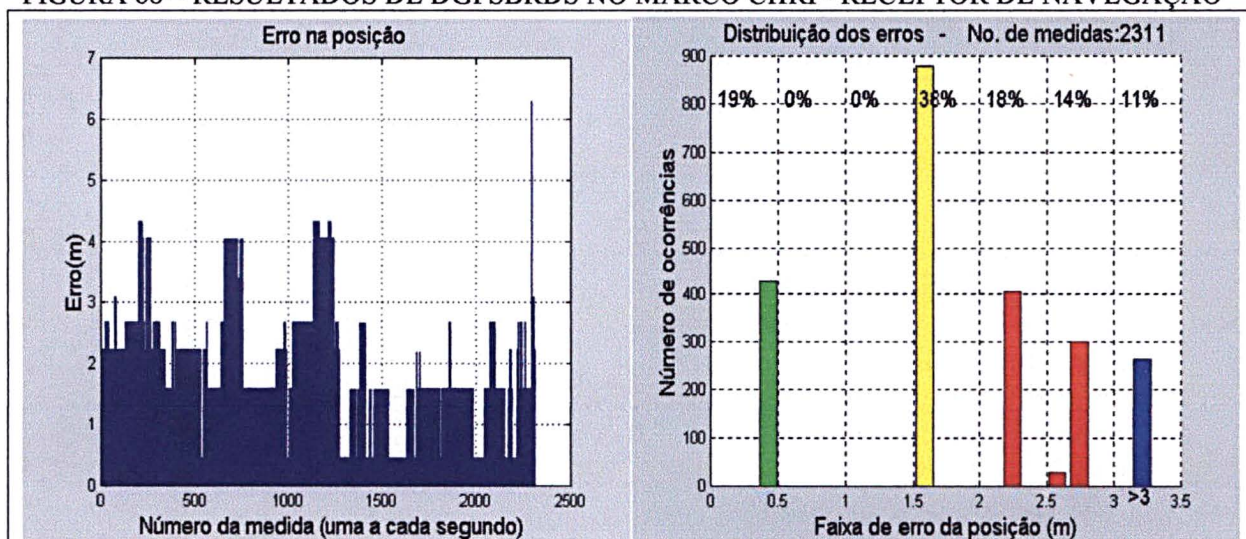
O marco CHRI localiza-se no viaduto de acesso à ex-fábrica da Chrysler, sobre a BR 277, e dista de aproximadamente 24,2 km da estação de referência EDUC. Na figura 67 observa-se o sistema móvel posicionado próximo a ele, estando a antena GPS do receptor de cadastro devidamente posicionada sobre o mesmo. Apesar dele ficar relativamente próximo à rede de energia elétrica, trata-se de um marco desobstruído.

FIGURA 67 – LEVANTAMENTO DGPS COM O DGPSBRDS - MARCO CHRI



Neste marco, o receptor de navegação (figura 68) forneceu 75% das medidas realizadas (do total de 2311) com erros de posição abaixo de 2,5 m, enquanto que o de cadastro forneceu 86% delas (do total de 1870) com erros de posição abaixo de 1,5 m, conforme se observa na figura 69. Nela, percebe-se ainda que o receptor de cadastro novamente realizou medidas isentas de erros espúrios. Com o receptor geodésico, 80% das medidas (do total de 2084) tiveram seus erros de posição abaixo de 1,0 m (figura 70). Neste marco, a distribuição dos erros de posição se assemelha à distribuição normal para os três receptores. O erro médio e desvio padrão para os receptores de navegação, de cadastro e geodésico foram, respectivamente, de  $1,27 \pm 1,78$  m;  $0,84 \pm 0,67$  m e  $0,05 \pm 1,84$  m.

FIGURA 68 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO CHRI - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO

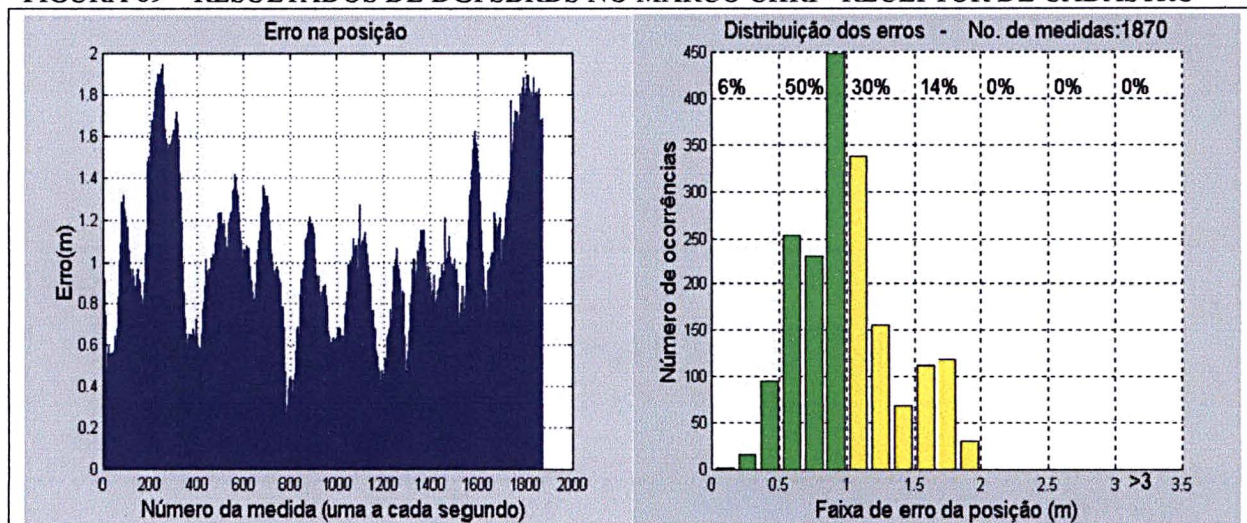


FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreamento na hora local de verão (= TU - 2h): 11h22 às 12h00. Data: 09.12.2002.



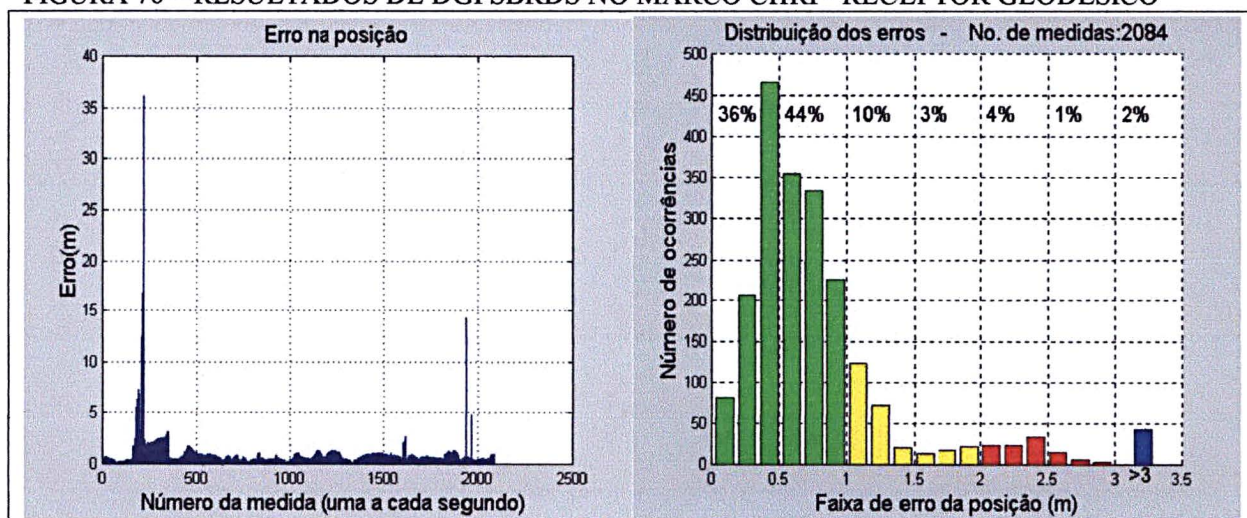
FIGURA 69 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO CHRI - RECEPTOR DE CADASTRO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreamento na hora local de verão (= TU - 2h): 10h45 às 11h15. Data: 09.12.2002.

FIGURA 70 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO CHRI - RECEPTOR GEODÉSICO



FONTE: O autor

NOTA: Período do rastreamento na hora local de verão (= TU - 2h): 10h05 às 11h40. Data: 09.12.2002.

No quadro 15 apresentam-se os resultados estatísticos dos levantamentos estáticos realizados nos oito marcos supra descritos. Pela indicação de cores, visualiza-se a ordem de qualidade (verde= o melhor, amarelo=intermediário, vermelho=o pior) para cada um dos três tipos de receptor GPS empregados. Observa-se que o receptor de cadastro forneceu o melhor resultado, sendo: com 3/8 dos marcos ocupados como

intermediário e 5/8 como melhor em acurácia<sup>26</sup>. Para nenhum dos marcos ocupados ele foi o que teve a pior qualidade, fornecendo acurácias variando entre 0,89 e 1,85 m ( $1\sigma$ ). Já o receptor geodésico, que teoricamente deveria fornecer resultados tão bons ou melhores que o de cadastro, não obteve a qualidade esperada. Ele forneceu resultados erráticos, pelos motivos já expostos anteriormente, com 3/8 dos marcos ocupados com pior qualidade. O receptor de navegação foi pior em 4/7 dos marcos ocupados e intermediário em acurácia em 3 dos 7 marcos ocupados com ele.

O quadro 16 expõe os resultados da frequência relativa dos erros (distribuição dos erros) e as cores fornecem uma indicação da qualidade do posicionamento, onde: verde=bom, amarelo=razoável e vermelho=ruim. A atribuição das cores foi feita baseada simultaneamente na acurácia e dispersão dos valores dos erros de posição, ou seja, nos conjuntos com frequência relativa mais significativos, não seguindo limites rígidos de classificação. Para se ter uma visão geral e facilitar sua análise, geraram-se gráficos com os mesmos dados contidos neste quadro (quadro 16), porém com a faixa máxima do erro ampliada de 3 para 5 metros. Para cada receptor foi gerado um gráfico mostrando a frequência acumulada, em porcentagem, dos erros de posição. Nas figuras 71 (receptor de navegação), 72 (receptor de cadastro) e 73 (receptor geodésico), pode ser observada a frequência acumulada destes erros. Verifica-se, pela figura 71 (e/ou pelo quadro 16) que com o receptor GPS de navegação e o sistema DGPSBRDS foi possível obter erros de posição inferiores a 3 metros em até 55% das medidas realizadas (pelo pior caso), e inferiores a 5 m em até 65% das medidas realizadas, considerando-se todas as ocupações (8 marcos levantados). Para o receptor de cadastro (figura 72) estes erros foram inferiores a 2 metros em até 96% das medidas realizadas, podendo-se dizer que para cerca de 45% das medidas realizadas estes erros foram inferiores a 1 metro. Já para o receptor geodésico, observa-se (figura 73) que os erros de posição são inferiores a 5 m em até 90% das medidas e inferiores a 3 m em apenas até 48% das medidas realizadas.

---

<sup>26</sup> Nesta classificação considerou-se a soma do valor do erro médio com o valor do desvio padrão, e as coordenadas conhecidas como as verdadeiras.



QUADRO 15 – RESULTADOS ESTATÍSTICOS PARA OS LEVANTAMENTOS DGPS/RDS – ERRO MÉDIO E DESVIO-PADRÃO EM METROS

Categoria do receptor	Estação	RM3	JBOT	FOOT	TECS	KM3	EDIT	ROND	CHRI
De Navegação	Erro Médio	X	0,72	1,71	0,37	1,64	0,28	0,73	1,27
	Desvio Padrão	X	1,70	2,00	1,92	3,88	1,68	1,79	1,78
De Cadastro	Erro Médio	0,31	0,71	0,62	0,72	0,26	0,18	0,62	0,84
	Desvio Padrão	0,58	0,95	0,80	1,13	0,64	0,83	0,82	0,67
Geodésico	Erro Médio	0,31	0,39	2,10	0,38	1,16	0,92	2,25	0,05
	Desvio Padrão	0,49	0,96	2,23	1,22	1,08	3,59	2,72	1,84
	Dist. à Estação de Referência [km]	8,1	6,8	6,5	5,7	7,0	12,7	20,5	24,2

FONTE: O autor

QUADRO 16 – FREQUÊNCIA RELATIVA DOS ERROS DE POSIÇÃO (EM %) PARA OS LEVANTAMENTOS DGPS/RDS E INDICAÇÃO DA QUALIDADE DO POSICIONAMENTO

	Estação	RM3			JBOT			FOOT			TECS			KM3			EDIT			ROND			CHRI		
Faixa do erro [m]	Categoria do Receptor																								
		n	c	g	n	c	g	n	c	g	n	c	g	n	c	g	n	c	g	n	c	g	n	c	g
0 a 0,5		X	55	60	0	13	23	0	19	16	0	11	26	0	43	3	0	49	20	0	33	6	19	6	36
>0,5 a 1		X	33	37	23	32	43	9	44	23	33	47	35	0	43	22	40	41	19	26	31	21	0	50	44
>1 a 1,5		X	9	1	24	36	21	22	24	14	28	35	31	24	13	37	16	9	8	8	22	15	0	30	10
>1,5 a 2		X	3	1	12	16	9	0	12	2	11	4	5	5	1	23	31	1	11	22	13	3	38	14	3
>2 a 2,5		X	0	0	27	2	2	25	1	2	0	1	2	0	0	11	3	0	18	33	1	1	18	0	4
>2,5 a 3		X	0	0	2	0	2	18	0	1	22	0	0	26	0	2	4	0	12	0	0	2	14	0	1
>3		X	0	1	11	0	0	26	0	42	6	2	1	45	0	2	5	0	10	11	0	52	11	0	2

FONTE: O autor

NOTA: Categoria do receptor GPS: n=de navegação; c=de cadastro; g=geodésico.

Pela análise dos gráficos de distribuição dos erros de posição das figuras anteriores, constata-se que com o receptor geodésico eles não apresentaram uma distribuição normal (ou semelhante a ela) em 3 marcos: FOOT, EDIT e ROND. Neles parece ter ocorrido problemas com o equipamento ou seus acessórios (provavelmente ruído na sua alimentação durante alguns períodos). Assim, se forem desconsideradas as medidas realizadas nestes marcos, observa-se que os resultados melhoram significativamente, obtendo-se os seguintes valores para o receptor geodésico: erros de posição inferiores a 2,5 m para até 96% das medidas e inferiores a 1,5 m para até 63% das medidas realizadas. Os erros de posição das medidas realizadas pelo receptor de cadastro têm uma distribuição aproximadamente normal em todos os marcos. Esse aspecto também é evidenciado na figura 72, onde se observa que eles têm um comportamento semelhante para cada um dos marcos levantados, ao contrário daqueles para os receptores de navegação (figura 71) e geodésico (figura 73).

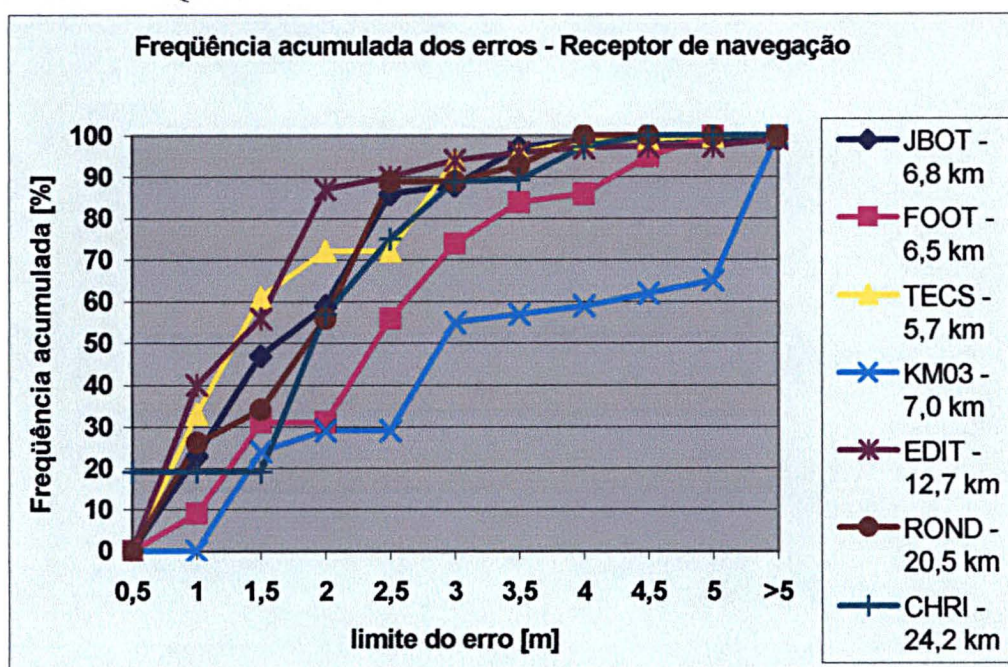
Visando a análise do efeito da correlação espacial<sup>27</sup> das correções diferenciais, gerou-se um gráfico do limite superior do intervalo de confiança de 68% (erro médio + desvio padrão) para os erros planimétricos obtidos em cada marco, em função do seu afastamento à estação de referência EDUC. Ele é exposto na figura 74, para os três receptores. Nela constata-se que não houve uma tendência de degradação da precisão em função da distância à estação de referência, quando se emprega o DGPSBRDS, para os marcos distantes de 5,7 e 8,1 km. Já para aqueles localizados entre as distâncias 8,1 e 24,2 km da estação de referência, houve a tendência de degradação (aumento do erro na posição proporcional ao aumento da distância) para os receptores de navegação e de cadastro, embora a amostra analisada seja pequena, e as distâncias deles à estação de referência, relativamente curtas para afirmações conclusivas. Numa análise mais ampla, isto pode ser explicado pelo fato de o erro residual do DGPS devido à ionosfera, troposfera e órbita ser pequeno para estas distâncias curtas. O ruído da observação do código e o multicaminho são fontes de erros dominantes nestes posicionamentos, daí a não evidência de correlação espacial.

---

<sup>27</sup> Correlação espacial: referente à degradação da precisão no posicionamento DGPS, conforme afasta-se da estação de referência.



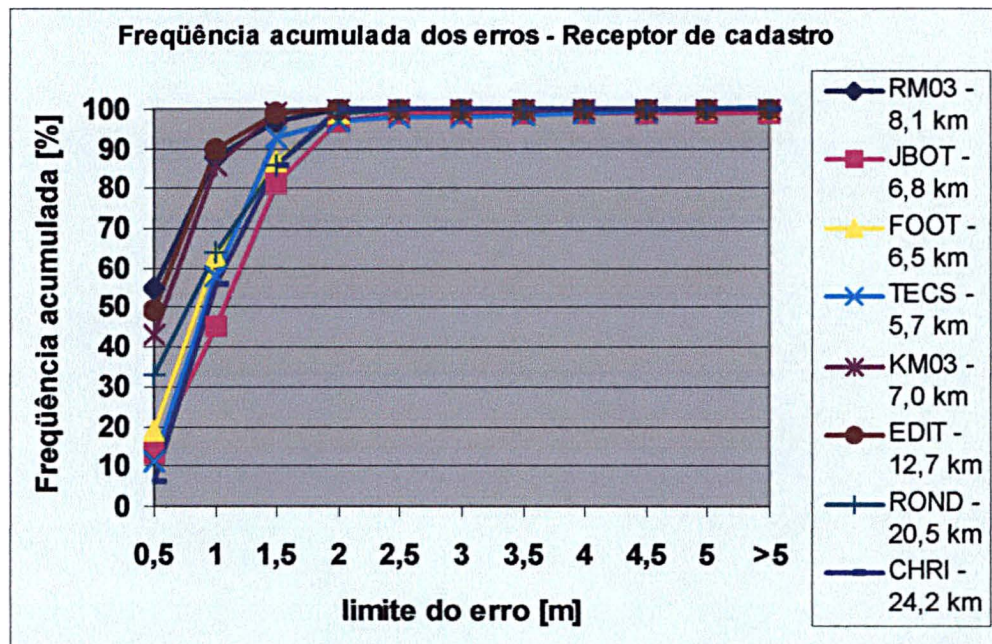
FIGURA 71 – FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS ERROS - RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO



FONTE: O autor

NOTA: Legenda: nome do marco levantado com o DGPSBRDS e sua distância à estação de referência EDUC

FIGURA 72 – FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS ERROS - RECEPTOR DE CADASTRO

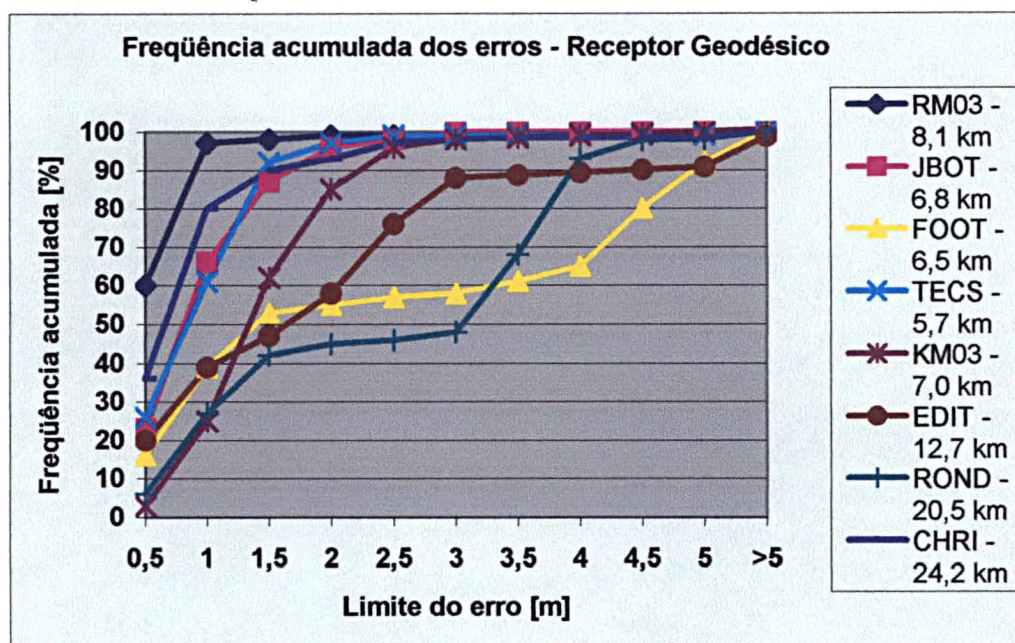


FONTE: O autor

NOTA: Legenda: nome do marco levantado com o DGPSBRDS e sua distância à estação de referência EDUC



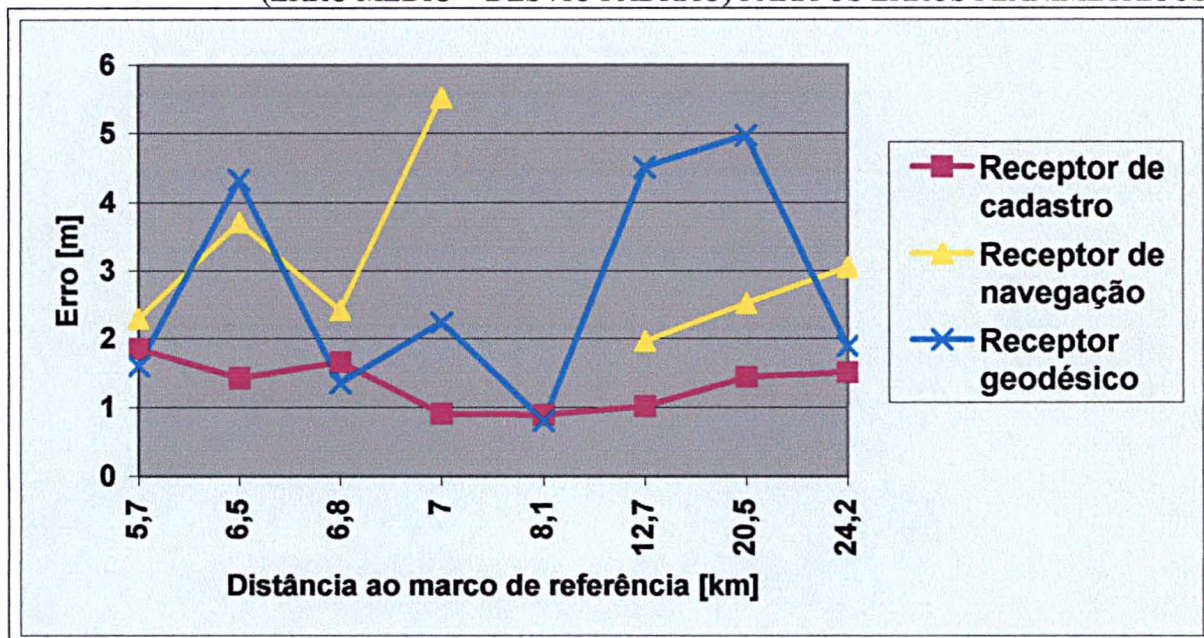
FIGURA 73 – FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS ERROS - RECEPTOR GEODÉSICO



FONTE: O autor

NOTA: Legenda: nome do marco levantado com o DGPSBRDS e sua distância à estação de referência EDUC

FIGURA 74 – LIMITE SUPERIOR DO INTERVALO DE CONFIANÇA DE 68% (ERRO MÉDIO + DESVIO PADRÃO) PARA OS ERROS PLANIMÉTRICOS



FONTE: O autor

NOTA: Dado inexistente para o receptor de navegação no marco distante de 8,1 km (marco RM03).



### 5.2.3.3 Levantamentos cinemáticos com o DGPSBRDS

Realizaram-se também levantamentos cinemáticos com o DGPSBRDS, visando investigar o seu funcionamento quando a estação móvel encontra-se em movimento. Os levantamentos foram realizados dentro do campus do Centro Politécnico, para cada um dos três receptores. Empregou-se a estação de referência EDUC (seção 5.2.1) e o sistema móvel (seção 5.2.2) anteriormente descritos.

Na figura 75 observa-se o veículo equipado para este levantamento, com a antena GPS fixada em seu teto por uma base magnética e a antena do receptor FM/demodulador RDS.

Optou-se pelo levantamento cinemático na área do Centro Politécnico em face de que há cartas planimétricas do ano de 2001 desta área. Também pelo fato que é uma área do campus, havendo uma maior facilidade em se realizar os levantamentos, uma vez que o veículo deve percorrer as vias de tráfego sem causar problemas no trânsito.

FIGURA 75 – ANTENAS FIXADAS NO TETO DO VEÍCULO PARA O LEVANTAMENTO CINEMÁTICO



Pelas figuras 76, 77 e 78 percebe-se, visualmente, que o resultado qualitativo foi satisfatório para os três tipos de receptores. Observa-se que com o DGPSBRDS consegue-se detectar mesmo as pequenas mudanças de direção, tais como aquelas que ocorrem nas áreas "A" indicadas nas três figuras.

Nas áreas "B" das figuras 76 (receptor de navegação) e 77 (receptor de cadastro) e 78 (receptor geodésico) observam-se pequenas mudanças na trajetória. Elas ocorreram durante momentos nos quais os respectivos receptores passaram do método diferencial, durante alguns segundos, para o método absoluto no cálculo da posição. Estas ocorrências foram causadas por ruído ou perda no sinal do rádio (sinal FM/RDS) ou pela diminuição do número de satélites rastreados naquelas áreas.

Nas áreas "C" das figuras 77 e 78, observam-se descontinuidades na trajetória (assim como numa área "B" da figura 77 e noutra da figura 78). Neste trecho, há a obstrução parcial pela copa das árvores e conseqüentemente houve o enfraquecimento e perda do sinal de alguns satélites. Houve momentos em que o número de satélites rastreados foi abaixo do mínimo (4 satélites) para o cálculo da posição, acarretando na falta de alguns dados. Observa-se que para o receptor de navegação, entretanto, não ocorreu o mesmo. Este fato se deve, aparentemente, à maior sensibilidade deste receptor em captar os sinais dos satélites, por isso ele não perdeu o sinal deles, mesmo sendo mais "fracos" ali.

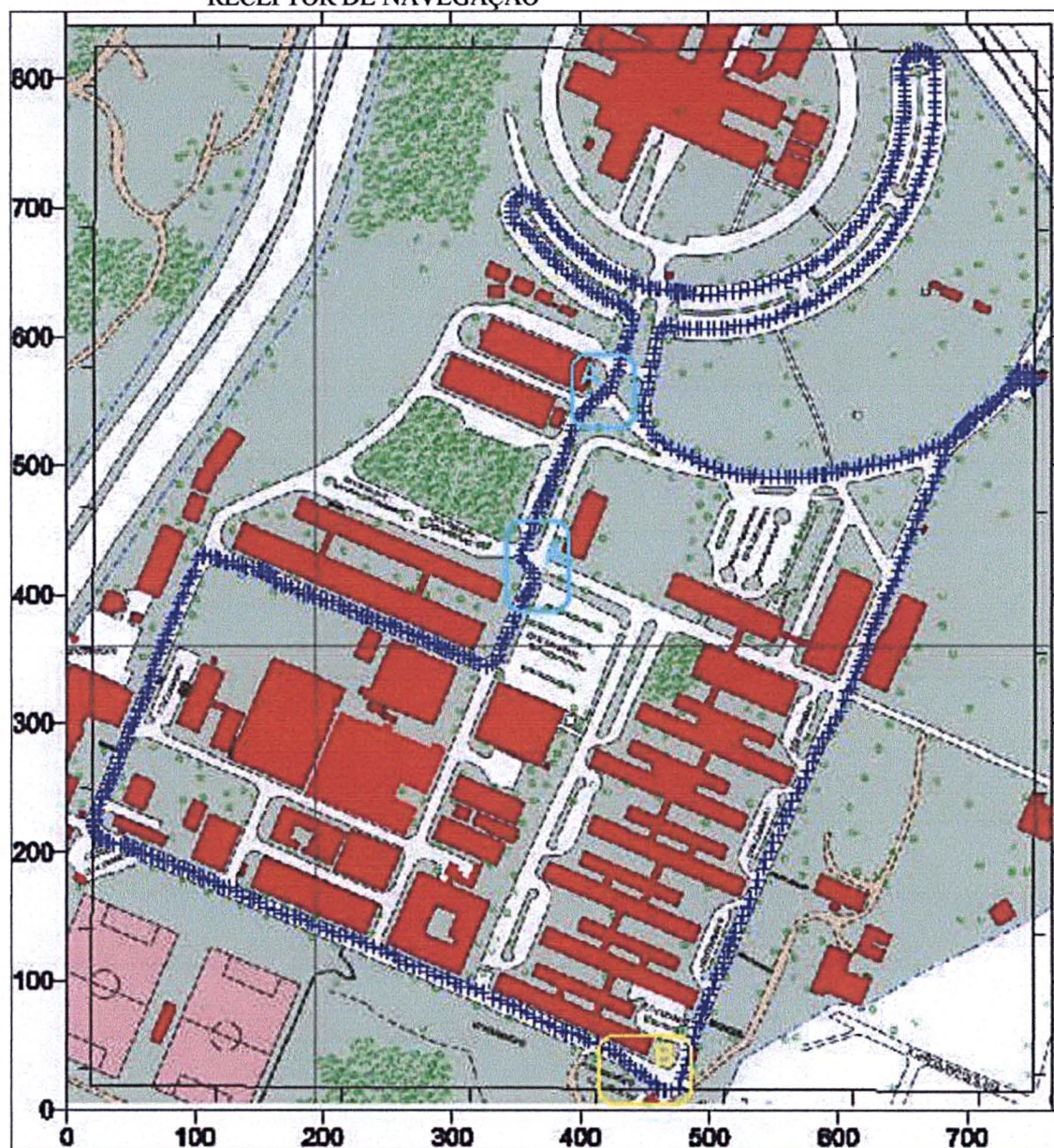
Visando obter uma estimativa dos valores dos erros de posição nestes levantamentos, calculou-se, no programa AutoCAD, a distância entre a linha percorrida pelo veículo a linha plotada (interligação dos pontos medidos pelo GPS) para alguns pontos que foram manualmente amostrados. Obtiveram-se os seguintes resultados quantitativos: para o receptor de navegação, erro máximo na posição de 4,3 m quando no método diferencial e de 11 m quando no método absoluto; o receptor de cadastro forneceu 4 m de erro máximo na posição no método diferencial e 9 m no absoluto; e o receptor geodésico forneceu praticamente os mesmos valores que o de cadastro.

De acordo com o que se observa nas figuras 76, 77 e 78, o levantamento cinemático com o DGPSBRDS forneceu bons resultados qualitativos na determinação da trajetória percorrida pelo veículo para todas as categorias de receptor GPS (de



navegação, de cadastro e geodésico), "desenhando" as posições integralmente dentro das vias existentes, enquanto elas estiveram sendo calculadas pelo método diferencial. Assim, pode-se dizer que o DGPSBRDS tem potencial aplicação na navegação (veicular ou outra), mesmo utilizando-se receptores de navegação.

FIGURA 76 – PLOTAGEM DOS PONTOS DO RASTREIO DGPSBRDS CINEMÁTICO COM RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO

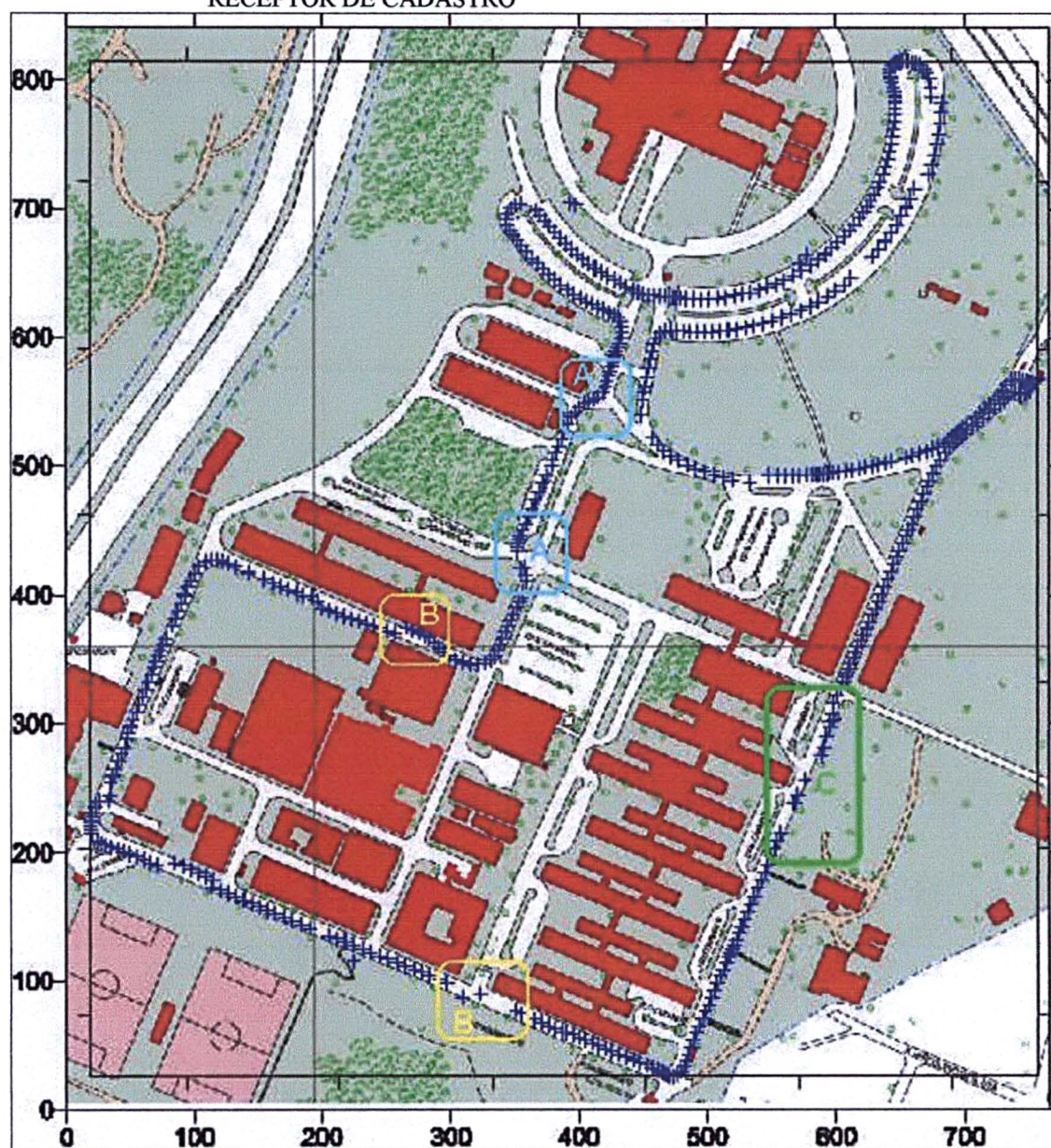


FONTE: DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA DA UFPR - Mapeamento da Cidade Universitária (2001)

NOTAS: Adaptado pelo autor. Escala em metros. Base cartográfica referida ao SAD69 (os pontos plotados foram convertidos de WGS84 para SAD69).



FIGURA 77 – PLOTAGEM DOS PONTOS DO RASTREIO DGPSBRDS CINEMÁTICO COM RECEPTOR DE CADASTRO

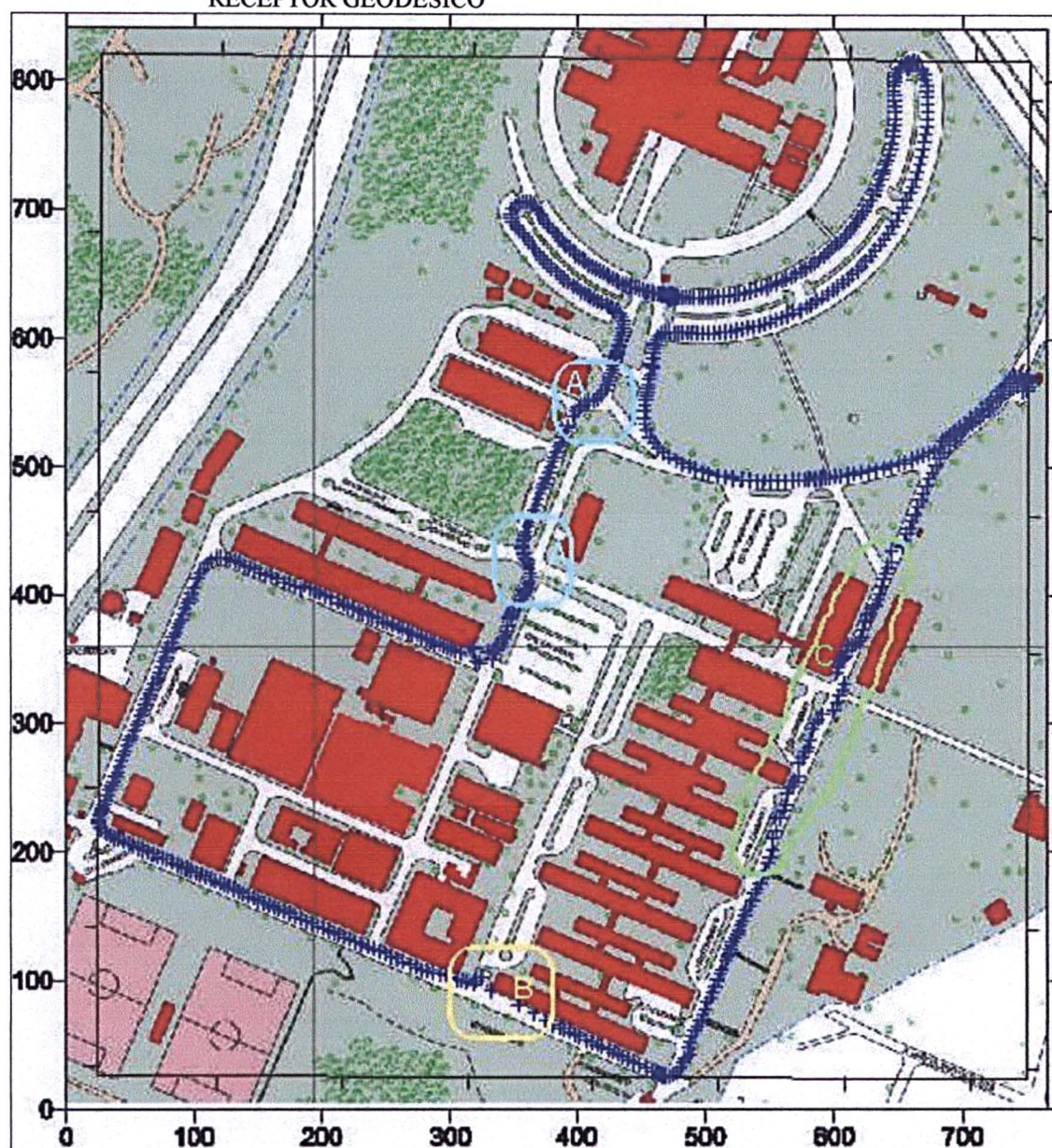


FONTE: DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA DA UFPR - Mapeamento da Cidade Universitária (2001)

NOTAS: Adaptado pelo autor. Escala em metros. Base cartográfica referida ao SAD69 (os pontos plotados foram convertidos de WGS84 para SAD69).



FIGURA 78 – PLOTAGEM DOS PONTOS DO RASTREIO DGPSBRDS CINEMÁTICO COM RECEPTOR GEODÉSICO



FONTE: DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA DA UFPR - Mapeamento da Cidade Universitária (2001)

NOTAS: Adaptado pelo autor. Escala em metros. Base cartográfica referida ao SAD69 (os pontos plotados foram convertidos de WGS84 para SAD69).

#### 5.2.3.4 Levantamento estático de longo período com o DGPSBRDS

Visando investigar e analisar o comportamento da precisão das medidas e tentar encontrar uma possível correlação entre a ocorrência dos erros espúrios no sistema DGPSBRDS, o número de satélites e o HDOP<sup>28</sup>, foi realizado um levantamento com o sistema DGPSBRDS por algumas horas<sup>29</sup>. Ele foi realizado no LAGE, sobre o marco RM03 (figura 20), e contou com a estação de referência EDUC, descrita na seção 5.2.1. Utilizou-se o receptor geodésico Ashtech ZXII, em função da disponibilidade de cabo para a conexão da antena GPS desde o marco RM03 até o receptor (20 metros), instalado no LAGE.

O número de satélites rastreados e o HDOP foram plotados em um gráfico, conforme ilustra a parte inferior da figura 79. Na parte superior dessa figura observam-se os erros na posição obtidos ao longo do levantamento. Neste caso registrou-se, em face do volume de dados gerado para as 13,7 horas de ocupação do marco, uma medida a cada 20 segundos, ao invés de uma a cada segundo, como o foi nos outros levantamentos.

Observando-se a parte superior da figura 79, constata-se a presença dos erros espúrios. Percebe-se que não há uma correlação aparente entre todos eles e o número de satélites e HDOP. Contudo, em alguns casos, verifica-se que quando houve uma mudança na constelação (número de satélites) ocorreram alguns erros espúrios. Analisando-se os arquivos de dados correspondentes, também observaram-se algumas coincidências entre a ocorrência dos erros espúrios e a mudança na constelação, embora este fato tenha ocorrido apenas em alguns casos. Estudos mais detalhados devem ser realizados. Antes, entretanto, é necessário verificar se o receptor Ashtech ZXII utilizado, pertencente ao LAGE, apresenta problemas. Devido a vários fatores, infelizmente não foi possível realizar este mesmo levantamento com outros receptores GPS.

---

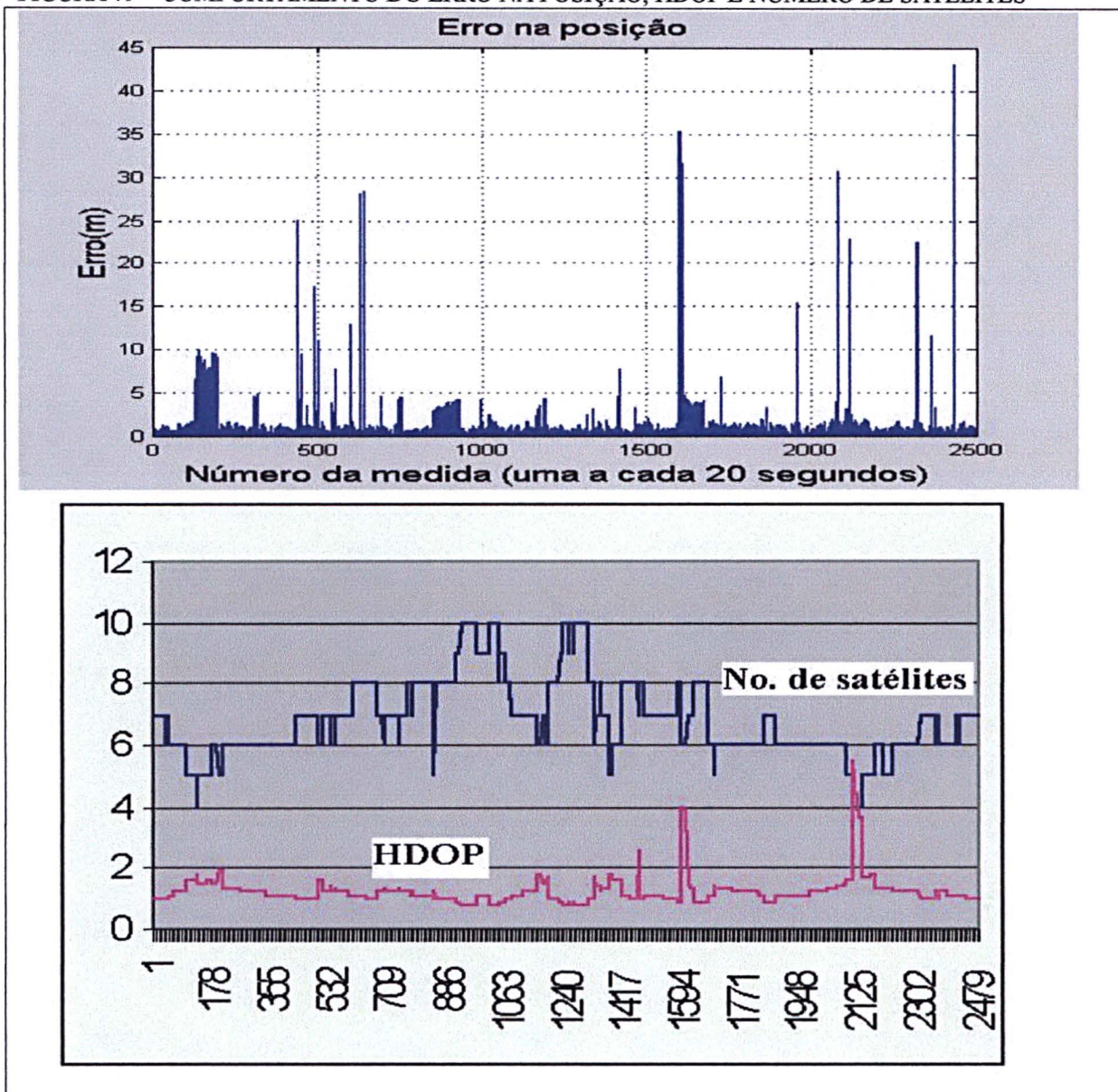
<sup>28</sup> HDOP – Diluição horizontal da precisão.

<sup>29</sup> Embora tivesse sido planejado um rastreo de 24 horas, conseguiu-se somente um rastreo de 13,7 horas, devido a diversos problemas ocorridos durante o mesmo. Observaram-se outras falhas existentes no programa DRDSRTCM. Após algum tempo (entre 1 e 4 horas) de funcionamento contínuo, ocorria uma paralisação ("travamento") do mesmo. Este fato demonstra que ele ainda necessita ser melhor depurado.



O erro médio e o desvio padrão neste levantamento foi, respectivamente, de 0,54 m e 3,55 m, ou seja, a precisão foi inferior àquela obtida com a ocupação do mesmo marco (RM03) durante aproximadamente 30 minutos e com taxa de gravação de 1 s (seção 5.2.3.2), cujos valores obtidos foram de 0,31 m (erro médio) e 0,49 m (desvio padrão).

FIGURA 79 – COMPORTAMENTO DO ERRO NA POSIÇÃO, HDOP E NÚMERO DE SATÉLITES

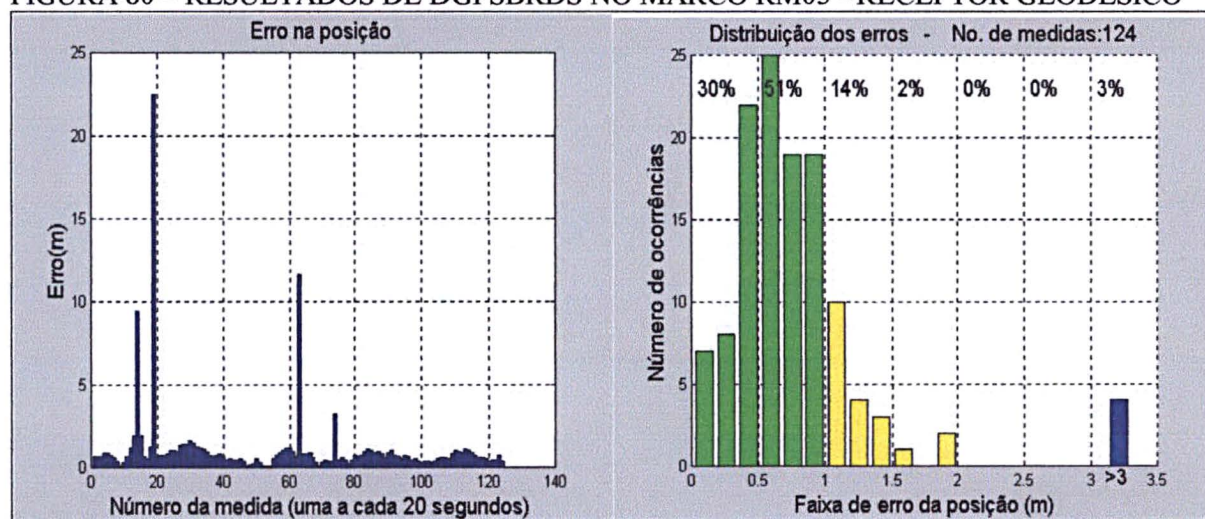


FONTE: O autor

Visando a comparação do comportamento dos resultados entre o levantamento de médio período realizado neste marco, descrito na seção 5.2.3.2, e este levantamento, separou-se e processou-se o trecho deste, correspondente ao mesmo

período daquele (mesma "janela" temporal). Na figura 80 observam-se os erros de posição e a distribuição dos erros. Observa-se neste levantamento que os erros espúrios foram de número e amplitude maiores do que aqueles para o levantamento anterior (figura 42). A distribuição dos erros também foi mais "espalhada", denotando menor precisão. Quantitativamente, obteve-se os seguintes valores: erro médio de 0,36 m e desvio padrão de 2,55 m. Observa-se que o erro médio foi semelhante àquele do levantamento anterior (0,31 m), mas o desvio padrão foi significativamente maior (0,49 m para o levantamento anterior). Assim, conclui-se que os resultados obtidos de levantamentos repetidos em situações quase idênticas, usando o DGPSBRDS, não têm um mesmo padrão de comportamento. Este fato pode-se explicar pelas diferentes condições de rastreo (influência da troposfera e ionosfera, dentre outros) para os dois levantamentos.

FIGURA 80 – RESULTADOS DE DGPSBRDS NO MARCO RM03 - RECEPTOR GEODÉSICO



FONTE: O autor

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste último capítulo far-se-á inicialmente algumas considerações para a implementação e utilização de um serviço com o DGPSBRDS. Posteriormente, apresentam-se as conclusões obtidas/geradas com este trabalho e algumas recomendações para a continuidade do desenvolvimento da pesquisa.

### 6.1 ALGUMAS BREVES CONSIDERAÇÕES PARA A IMPLEMENTAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE UM SERVIÇO COM O DGPSBRDS

O desenvolvimento do formato proposto neste trabalho foi apenas o passo inicial objetivando a disponibilização de um serviço de transmissão de correções diferenciais no Brasil. Para que tal aconteça, há a necessidade de uma investigação mais ampla e complexa, visando inicialmente o levantamento da estrutura existente e sua situação atual, para a posterior definição das necessidades técnicas e de estrutura complementar necessária para a implementação de tal serviço/sistema. Nesta investigação deve-se considerar os potenciais usuários deste sistema e suas necessidades. Devem ser planejadas as áreas de cobertura desejadas/necessárias, e previstas ampliações das mesmas de maneira tal que processo ocorra de forma modular, visando a não exigência de grandes adaptações e ao mesmo tempo não prejudicando ou interferindo no funcionamento do sistema já implantado. Enfim, deve-se planejar a estrutura do sistema de tal forma que sua manutenção e ampliação ocorra com o mínimo de transtornos possível. Outros fatores muito importantes que devem ser considerados são a integridade<sup>1</sup> e disponibilidade de tal serviço/sistema. Essa deve ser a melhor possível, de modo a atender o usuário sempre que ele necessitar, e o fornecimento do serviço deve estar garantido quanto à(s) especificação(ões) nominal(is) projetada(s). Para uma boa integridade, é importante

---

<sup>1</sup> Integridade: é a probabilidade de que a posição informada atenda às especificações estabelecidas (MONICO, 2000, p. 219).

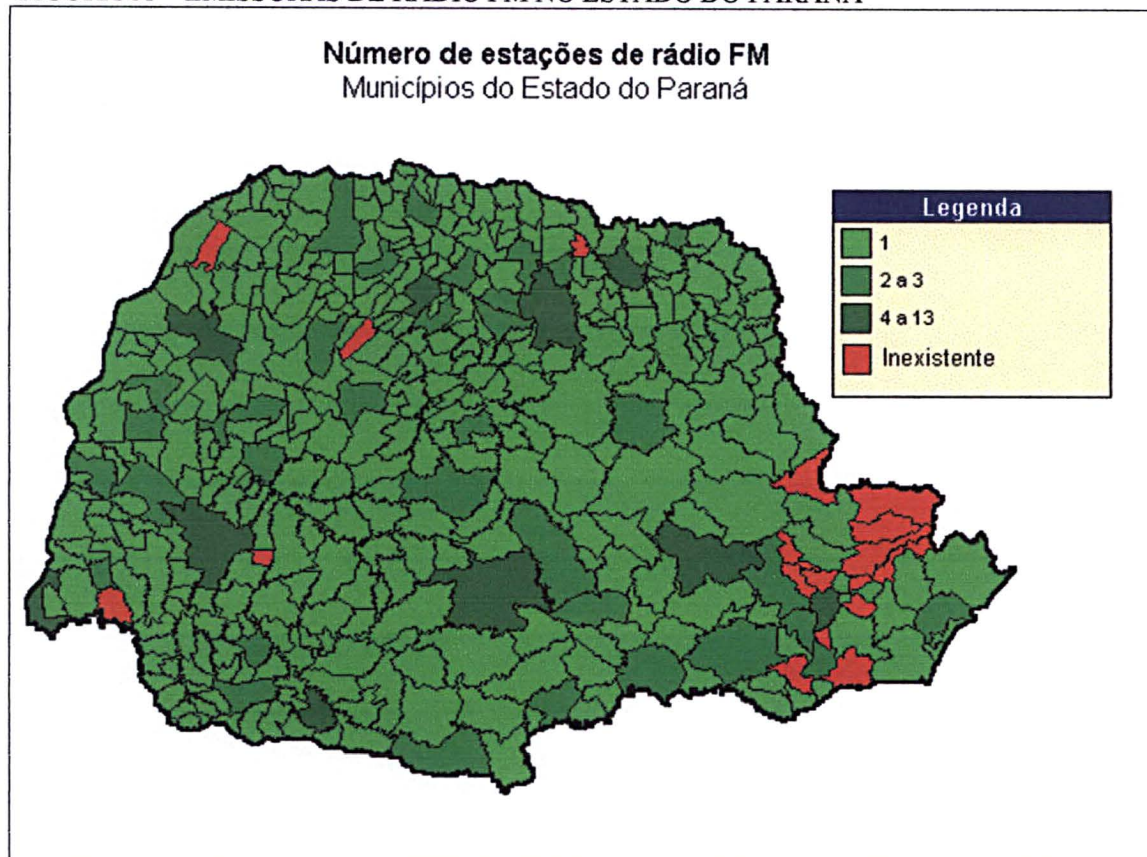


que seja previsto um monitoramento contínuo do sistema/serviço e um mecanismo de aviso ao usuário quando da ocorrência de alguma anomalia no mesmo. Isto pode ser conseguido criando-se códigos específicos para cada uma das possíveis situações anômalas e que são transmitidos ao equipamento do usuário (decodificador). Dessa forma, o decodificador pode avisar ao usuário da ocorrência de algum problema com o serviço, o que é de extrema importância para usuários que necessitem da informação de posição com segurança, onde um erro na mesma poderia acarretar em acidentes. O mecanismo de alerta deve ter o mínimo de atraso possível entre a detecção da anomalia e o aviso ao usuário.

Para a implantação de um sistema de transmissão de correções diferenciais com o DGPSBRDS é necessária uma estrutura de estações de referência (possivelmente uma rede de estações), e de uma rede de comunicação das informações desde a estação geradora das correções diferenciais até a emissora em FM que irradiará as mesmas, podendo-se utilizar linhas telefônicas com modem para esse fim, dentre outros meios. Para as estações de referência, poderia-se aproveitar aquelas da RBMC. Em relação às emissoras em FM, estima-se que são em número suficiente para a cobertura da maior parte das áreas mais populosas e desenvolvidas do Brasil. Visando realizar-se uma avaliação no estado do Paraná, levantou-se as emissoras existentes em cada município do mesmo. Na figura 81 observa-se a distribuição delas. Constata-se que dos 399 municípios, apenas 17 não tem emissora em FM (em vermelho), sendo que parte destes situam-se na região metropolitana de sua capital (Curitiba), as quais são cobertas em parte pelas emissoras dela. Para aquelas do interior, ressalta-se que muitas também tem a cobertura de emissoras de cidades vizinhas. Assim, conclui-se que a estrutura de emissoras em FM no estado do Paraná é muito favorável para a implantação de um serviço/sistema com o DGPSBRDS com cobertura ampla. Segundo análise preliminar, há indicação de situação semelhante também em outros estados das regiões mais desenvolvidas do Brasil. Este fato deve tornar um serviço de transmissão de correções bem mais



FIGURA 81 – EMISSORAS DE RÁDIO FM NO ESTADO DO PARANÁ



FONTE: Dados colhidos manualmente do Plano Básico de Distribuição de Canais de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada - ANATEL em [www.anatel.gov.br/Tools/frame.asp?link=/biblioteca/resolucao/1999/anexo\\_125\\_1999.pdf](http://www.anatel.gov.br/Tools/frame.asp?link=/biblioteca/resolucao/1999/anexo_125_1999.pdf)

NOTA: Mapa gerado com auxílio do SNIU - Sistema Nacional de Indicadores Urbanos, cujos dados foram atualizados manualmente pelo autor com aqueles da fonte acima.

econômico do que aqueles que utilizam uma estrutura de transmissão exclusiva, tais como os via satélite. Entretanto, uma avaliação de como se poderia implantar tal sistema utilizando-se estas emissoras deve ser realizado, uma vez que quase todas são privadas, e sua utilização pode esbarrar no desinteresse por parte de seus diretores e/ou proprietários. É provável seja necessária a formação de uma força tarefa congregando diversos órgãos, tais como o IBGE, a ABERT (Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão) e universidade(s), visando uma integração para solucionar uma questão de interesse comum, que é a disponibilização de uma rede provedora de um serviço de transmissão de correções diferenciais utilizando o DGPSBRDS. Enfim, são necessárias investigações e um

planejamento mais amplo, reunindo elementos técnicos, científicos e de pessoas de diversos segmentos, inclusive com o auxílio/orientação de pessoas de entidades que já implementaram sistema semelhante em seu país, como é o caso do RASANT - *Radio Aided Satellite Navigation Technique*) da Alemanha. Lá, uma comissão formada por técnicos e engenheiros do LVerMA NRW (*Landesvermessungamt Nordrhein-Westfalen*) e da WDR (*Westdeutscher Rundfunk*) desenvolveram, em 1996, o formato especial para o RASANT (de modo semelhante ao DGPSBRDS aqui desenvolvido). Nele são transmitidas as correções diferenciais por meio de uma rede de emissoras públicas de rádio FM com o RDS, com cobertura em todo o país (SAATKAMP & KRUEGER, 2002). Um canal de cooperação preliminar já foi aberto quando da visita técnica deste autor ao LVerMA NRW, em Bonn, Alemanha, o que se espera dar continuidade.

Outro aspecto que necessita ser analisado na implantação de um serviço para DGPS é a cobertura financeira do sistema. Deve ser definido quem irá subsidiar a implantação, manutenção e ampliação do sistema, e como o serviço será cobrado dos usuários (se for assim decidido). Na Alemanha, uma parcela da venda do equipamento receptor/decodificador é aplicada na manutenção do sistema, sendo que, após adquiri-lo, o usuário não necessita mais pagar pelo uso do serviço (apenas no caso do serviço básico pelo RDS para o DGPS em tempo real). Aqui, novamente a união de forças envolvendo diversos órgãos (públicos e talvez privados também) será necessária para que uma solução factível seja encontrada.

Os usuários ou as aplicações de um serviço com o sistema proposto podem ser os mais diversos. Dentre eles, cita-se a agricultura de precisão, que tem um grande potencial a ser explorado no Brasil; órgãos de segurança e/ou de emergência, tais como corpo de bombeiros, viaturas policiais e viaturas de atendimento médico/emergencial; empresas ou mesmo usuários particulares que utilizem sistemas de navegação e/ou rastreamento para seus veículos. Ainda, órgãos ou entidades que necessitem de um cadastro com precisão inferior, como, por exemplo, companhias de distribuição de energia elétrica que necessitem cadastrar seus postes,

dentre outro(a)(s), também são potenciais usuários. Enfim, as aplicações são todas aquelas para as quais uma precisão no posicionamento de até 3 metros seja suficiente.

## 6.2 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo principal deste trabalho consistiu no desenvolvimento e experimentação/avaliação preliminar de um formato que permitisse a transmissão das correções diferenciais por meio do RDS no Brasil. Nele compactam-se as informações contidas nas mensagens RTCM tipo 1 (correções diferenciais) para um formato compatível com o RDS. Ele foi denominado DGPSBRDS (DGPS Brasileiro por RDS). Como conclusão, far-se-á um resumo das investigações realizadas e os respectivos resultados alcançados com este formato brasileiro, em conjunto com algumas considerações finais.

Desenvolvido o formato, foi realizada, inicialmente, a validação do mesmo sob condições ideais, testando-se seu funcionamento e avaliando-se a sua eficiência. Verificou-se que ele funciona de forma satisfatória, com resultados que satisfizeram as expectativas, embora tenha se observado um problema, ainda a solucionar: a ocorrência esporádica de erros espúrios. Rastreios DGPS com o DGPSBRDS, sob condições ideais (linha de base zero e comunicação direta via cabo) e sem a ocorrência dos erros espúrios, forneceram medidas de posição com o mesmo erro médio (2 cm) do que aquele obtido com o RTCM original (DGPS ideal direto), mas o desvio padrão aumentou de 3 para 7 cm, ou seja, houve uma variação de 82% para 62% dos erros de posição com valores inferiores a 5 cm e, para erros de posição inferiores a 10 cm, uma variação de 99% para 90%. Com a ocorrência dos erros espúrios, o erro médio de posição foi igual a 9 cm e o desvio padrão igual a 1,60 m. Observou-se que o erro remanescente no DGPS ideal direto, relativo ao ruído do receptor, é de até 10 cm para 99% das medidas, ou de até 5 cm para 82% das medidas de posição, para o receptor geodésico Ashtech ZXII.

No teste de transição do DGPSBRDS para o método posicionamento absoluto (caso ideal), o valor dos erros passou de alguns centímetros para aproximadamente 7,5 metros. Durante a transição, com o uso de correções diferenciais antigas (idade de até 60 s), ele atingiu 0,5 metro.

Posteriormente, o sistema para a transmissão das correções diferenciais por meio do DGPSBRDS foi, temporariamente, implementado e testado sob condições reais. Realizou-se, inicialmente, um levantamento estático de curto período, para verificação efetiva do completo funcionamento do sistema, onde se observou também o comportamento das medidas de posição durante transições do método diferencial para o método absoluto. Elas se comportam de forma diversa, em função do valor do RRC calculado pelo programa DRDSRTCM no último quadro RTCM, embora geralmente o erro da posição medida cresça proporcionalmente ao crescimento da idade das correções diferenciais. Observou-se que o melhor valor para a máxima idade das correções diferenciais (*maxage*), de modo a manter um compromisso com a qualidade do posicionamento enquanto o receptor estiver no método diferencial, é em torno de 60 segundos. Nesta avaliação inicial do DGPSBRDS em condições reais, observaram-se erros na posição medida entre 10 cm e 1,3 m, pelo método diferencial, e entre 2,5 e 3,3 m, pelo método absoluto, com o receptor de cadastro.

Na sequência, foram realizados levantamentos estáticos com o DGPSBRDS em condições reais em oito marcos, utilizando-se receptores GPS de três diferentes categorias: de navegação, de cadastro e geodésico. Obtiveram-se, em geral, resultados de boa qualidade. Para o receptor de navegação, os erros da posição medida foram inferiores a 3 metros em até 55% das medidas realizadas e inferiores a 5 m em até 65% das medidas realizadas. A diferença entre as coordenadas bidimensionais conhecidas e medidas, com probabilidade de 68% (1 desvio padrão) variou entre  $0,28 \pm 1,68$  m e  $1,64 \pm 3,88$  m para este receptor. Para o receptor de cadastro, que apresentou o melhor comportamento, estes erros foram inferiores a 3 metros em até 98% das medidas realizadas, contudo, para 45% das medidas



realizadas estes erros foram inferiores a 1 metro. A diferença entre as coordenadas bidimensionais conhecidas e as medidas, com probabilidade de 68% (1 desvio padrão) variou entre  $0,31 \pm 0,58$  m e  $0,72 \pm 1,13$  m. Já o receptor GPS geodésico apresentou alguns problemas, por isso os resultados obtidos com o mesmo foram diversos. Considerando a totalidade de suas medidas, os erros de posição foram inferiores a 5 m em até 90% das medidas e inferiores a 3 m em apenas até 48% delas. A diferença entre as coordenadas bidimensionais conhecidas e medidas, com probabilidade de 68% (1 desvio padrão), variou entre  $0,31 \pm 0,49$  m e  $2,25 \pm 2,72$  m. Desconsiderando-se os três marcos onde houve maiores problemas (marcos FOOT, EDIT e ROND), dos oito marcos ocupados com o receptor geodésico, observa-se que os resultados melhoraram significativamente, obtendo-se os seguintes valores: erros de posição inferiores a 2,5 m para até 96% das medidas e inferiores a 1,5 m para até 63% das medidas realizadas.

Com as investigações realizadas e tomando-se como referência o receptor de cadastro, que forneceu resultados mais confiáveis, constatou-se que, com 95% de probabilidade (erro médio  $\pm 2\sigma$ ), a precisão do rastreo DGPS com uso do DGPSBRDS foi melhor que 2,98 metros e, com 68% de probabilidade, ela foi melhor que 1,85 metros, para este tipo de receptor. Dessa forma, conclui-se que para um receptor GPS de uma frequência capaz de realizar os cálculos de posição utilizando o código suavizado pela portadora, pode-se esperar uma precisão de 2 metros (1 desvio padrão) no uso do DGPSBRDS. Entretanto, este valor serve para distâncias à estação de referência de algumas dezenas de quilômetros. Para distâncias próximas ou superiores a uma centena de quilômetros, a precisão vai depender fundamentalmente da ionosfera (ver seção 2.1), dentre outros fatores.

Realizaram-se também levantamentos cinemáticos, com cada um dos receptores. Seus resultados também se mostraram bons. As medidas de posição ficaram, com raras exceções, dentro da via de tráfego percorrida pelo veículo, sendo possível detectar inclusive pequenas mudanças de direção. Observou-se que o receptor de navegação parece ser menos suscetível a perdas de sinal, nas condições

onde haja a obstrução parcial do sinal dos satélites. O DGPSBRDS mostrou potencial aplicação na navegação (veicular ou outra), mesmo utilizando-se receptores de navegação.

Finalmente, realizou-se um rastreio de longo período, visando encontrar uma indicação para a causa dos erros espúrios ocorridos nos levantamentos. Encontraram-se algumas ocorrências coincidentes com a mudança do número de satélites rastreados, embora em número insuficiente para que se possa afirmar conclusivamente que elas tenham correlação.

Os programas desenvolvidos ainda precisam ser refinados e melhorados, para eliminar os problemas esporádicos que surgem durante seu funcionamento, os quais deterioraram a qualidade dos levantamentos e comprometem a confiabilidade e a integridade do sistema.

Quanto à recepção do sinal FM-RDS, não houve qualquer problema em todos os marcos rastreados. Apenas nos levantamentos cinemáticos houveram três ou quatro curtos períodos nos quais ocorreu ruído e uma breve interrupção na recepção deste sinal. A boa qualidade de recepção do sinal deste sistema de comunicação (RDS) é relevante, pois, conforme os estudos realizados por FREIBERGER Jr. (2002) em sua dissertação de mestrado (CPGCG), levantamentos efetuados nos mesmos marcos com outro sistema de comunicação (rádios-modem que operam na faixa de UHF- *Ultra High Frequency*) tiveram alguns problemas na recepção. A estação de referência e transmissora que ele utilizou se situou no Campus do Centro Politécnico (FREIBERGER Jr., 2002, p. 39-40, 54-55). Ele teve problemas na recepção do sinal na ocupação dos marcos TECS (página 67 de sua dissertação), EDIT (p. 74) e FOOT (p. 95). O mesmo não ocorreu com o RDS, como já foi dito, indicando outro aspecto positivo para seu uso. Isto se deve ao fato de os sistemas de transmissão das emissoras de radiodifusão serem projetados para ter uma boa radiovisibilidade, conforme foi visto na seção 2.1.1, o que nem sempre é considerado nos casos com sistemas de comunicação de uso pessoal ou privado, como foi utilizado por FREIBERGER Jr. (2002).

O programa NMEAGGA desenvolvido pelo autor foi uma ferramenta de grande valia na geração dos gráficos e das estatísticas para a análise dos resultados dos posicionamentos.

O trabalho desenvolvido teve um caráter multidisciplinar, envolvendo soluções técnicas da engenharia eletrônica e das telecomunicações, em conjunto com os conhecimentos relativos ao posicionamento DGPS e à Geodésia, além daqueles relativos ao RDS e DGPS por RDS adquiridos na Alemanha. O desenvolvimento do DGPSBRDS é de grande importância, e foi uma tarefa bastante árdua, por ser desenvolvida apenas pelo autor, diferentemente do sistema desenvolvido na Alemanha (seção 6.1), onde uma equipe de técnicos e engenheiros trabalharam para desempenhar tal tarefa. As dificuldades para tornar o sistema funcional foram muito grandes. No desenvolvimento do trabalho, elas também se deveram em boa parte pela escassez de recursos humanos com os conhecimentos relativos ao tema, no Brasil, fato que obrigou o autor a realizar auscultações próprias, partindo de níveis fundamentalmente básicos, ou mesmo buscando informações e orientação com pessoas do exterior, até chegar ao "domínio" do assunto ao ponto necessário para a solução dos problemas encontrados. Ferramentas foram desenvolvidas e adaptações tiveram que ser realizadas, para que o trabalho pudesse ser concretizado. Devido a esses aspectos, um *know-how* muito importante foi adquirido. Acredita-se que com este trabalho foi possível descortinar uma nova possibilidade para um serviço de transmissão das correções diferenciais, relativamente econômico e com cobertura regional, constituindo-se numa reserva importante para o futuro desenvolvimento da ciência no Brasil, referente ao DGPS/RDS.

Entretanto, para que o DGPSBRDS possa ser utilizado de fato para a implementação de um serviço de transmissão de correções diferenciais no Brasil (ou qualquer outro lugar), mais investigações, aprimoramentos e desenvolvimentos têm que ser feitos. Portanto, como recomendações, sugere-se:

- Inicialmente, rever todos os algoritmos, pormenorizadamente, analisando e prevendo o comportamento das variáveis para todas as condições possíveis;
- Reescrever todos os programas, preferencialmente com acompanhamento de um profissional de informática, numa linguagem mais completa e atual, tal como a linguagem C, com o objetivo de eliminar possíveis “vícios” ou formas inadequadas de programação, e reduzir a probabilidade de *bug*;
- Levantar o tipo de problema que ocorreu com o receptor Ashtech ZXII do LAGE, com o método diferencial: se de conexões externas, *hardware*, software internos ou se de ruído na alimentação;
- Realizar, por meio de convênio de cooperação ou outro, a implantação de uma estação transmissora com RDS definitivo;
- Viabilizar, se possível, a utilização da estação PARA, da RBMC, situada no LAGE, como estação de referência, visando a geração contínua e em tempo real das correções diferenciais, para transmissão pelo RDS, para o desenvolvimento e a realização de outros estudos e testes, tais como os infra citados;
- Realizar o levantamento da cobertura do sinal RDS, seja para determinar seu alcance, seja para levantar áreas de “sombra”, onde a recepção seja dificultada por obstáculos (eletromagnéticos e/ou físicos), testando os mesmos com diferentes níveis de modulação do codificador/modulador RDS no transmissor, dentro dos níveis permitidos pelas normas e convencionados pelos diretores técnicos das emissoras no Brasil;
- Realizar testes com outros tipos de receptores/demoduladores RDS, para avaliar a influência desta variável na qualidade da recepção do sinal;



- Desenvolver um receptor FM/demodulador RDS, com os programas de decodificação do DGPSBRDS embutidos, ou seja, um receptor/decodificador do DGPSBRDS microprocessado, portátil;
- Analisar resultados da altimetria obtidos com o DGPSBRDS para verificar possibilidades de seu uso em atividades ou aplicações que necessitem da mesma, como, por exemplo, na navegação aérea;
- Realizar levantamentos em distâncias superiores a 30 km (até algumas centenas de km), colhendo também dados brutos de receptores geodésicos visando analisar a degradação da precisão e sua correlação com os efeitos residuais da ionosfera, assim como de outras fontes de erros;
- Formar um grupo de trabalho para realizar o planejamento e o direcionamento da implantação e ampliação de uma rede provedora de serviço de transmissão de correções diferenciais, pelo RDS, no Brasil, podendo utilizar as estações de monitoramento RBMC já implantadas e a tecnologia aqui implementada (com os devidos melhoramentos), observando-se também as considerações citadas na seção 6.1.

## 7. REFERÊNCIAS

ABRAMSON, N. **Information Theory and Coding**. McGRAW-HILL, USA, 1963.

AdV - Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. **Bericht der Expertengruppe GPS-Referenzstationen im Arbeitskreis Grundlagenvermessung**, Deutschland, 1998.

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações. **Proposta de Especificação Técnica para a Radiotransmissão de Dados Mediante Utilização do Canal Secundário de Emissora de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada – RDS**. Consulta Pública no. 412: Proposta de alteração do Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada. Disponível em [http://www.anatel.gov.br/Tools/frame.asp?link=/acontece\\_anatel/consulta/2002/consulta\\_412/anexo\\_ii.pdf](http://www.anatel.gov.br/Tools/frame.asp?link=/acontece_anatel/consulta/2002/consulta_412/anexo_ii.pdf). Acesso em 06.11.2002.

AUDEMAT – **Datacaster 2 User's Manual**. Audemat Inc., France, 2001.

BARRADAS, O. C. M.; SILVA, G. V. F. **Telecomunicações - Sistemas Radiovisibilidade**. EMBRATEL. Livros Técnicos e Científicos Editora, RJ, 1977.

BLAHUT, R. E. **Theory and Practice of Error Control Codes**. Addison-Wesley Publishing, NY, 1983.

BRIONES, A. B. (1999). **Análise do Posicionamento DGPS Baseado nas ERDGPS Implantadas no Litoral Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1999.

BRODHAGE, H.; HORMUTH, W. **Planejamento e Cálculo de Radioenlaces**. Siemens. Ed. Pedagógica e Universitária Ltda, SP, 1981.

CAMARGO, P. O. **Modelo Regional da Ionosfera Para Uso em Posicionamento com Receptores GPS de Uma Frequência**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1999.

CENELEC – Comité Européen de Normalisation Electrotechnique. **Specifications of the radio data system (RDS) for VHF/FM sound broadcasting in the frequency range from 87,5 to 108,0 MHz**. Europäische Norm EN 50067. Brussels, 1998.

DALAZOANA, R. **Implicações na Cartografia com a Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Futura Adoção do SIRGAS**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Dep. de Geociências, UFPR. Curitiba, 2001.

DIVIS, D. A. **SA: Going the Way of the Dinosaur.** GPS World, June 2000.

EBU-SPB 490. **RDS Universal Encoder Communication Protocol – UECP Version 5.1.** European Broadcasting Union/RDS forum, Genebra, agosto de 1997.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas.** Ed. da UFPR, Curitiba, 1994.

FORTES, L. P. S. **Optimizing the Use of GPS Multi-Reference Stations for Kinematic Positioning.** Thesis - Department of Geomatics Engineering - University of Calgary, Canadá, 2002. Disponível em <http://www.geomatics.ucalgary.ca/Papers/Thesis/MEC/02.20158.LPFortes.pdf>. Acesso em 12.04.2003.

FORTES, L. P. S.; LUZ, R. T.; PEREIRA, K. D.; COSTA, S. M. A.; BLITZKOW, D. **The Brazilian Network for Continuous Monitoring of GPS (RBMC): Operation and Products.** Advances in Positioning and Reference Frames, Internacional Association of Geodesy (IAG) Symposia, Vol. 118, p. 73-78, Springer-Verlag, 1998.

FREIBERGER Jr, J. **Análise da Degradação do Posicionamento em Tempo Real com o Emprego do GNRT.** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Dep. de Geociências, UFPR. Curitiba, 2002.

HOFFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, J.; COLLINS, J. **GPS: Theory and Practice.** Springer Verlag Wien, New York, 3.ed., 1994.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S.; FRANCO, F. M. M. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa.** Ed. Objetiva, Rio de Janeiro, 1.ed., 2001.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul - Relatório Final.** Dep. de Geodésia. Grupos de trabalho I e II. Rio de Janeiro, 1997.

ICD-GPS-200C – Interface Control Document. **Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces.** Arinc Research Corporation, CA, 1993.

KOPITZ, D.; MARKS, B. **RDS: The Radio Data System;** Artech House Publishers, Boston-London, 1999.

KRUEGER, C. P. **Investigações Sobre Aplicações de Alta Precisão do GPS no Âmbito Marinho.** Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1996.

LANGLEY, R. B. **Communication Links for DGPS.** GPS World, p. 47-51, maio de 1993.

\_\_\_\_\_. **RTCM SC-104 DGPS Standards**. GPS World, p. 48-53, maio de 1994.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. New York : Wiley-Interscience Publications, 1995.

LIN, S.; COSTELLO, D. J. Jr. **Error Control Coding – Fundamentals and Applications**. Prentice-Hall, New Jersey, 1983.

LINDSTROT, W. **DGPS-Datenübertragung in Echtzeit**. Verm.-Ing. 4/1998.

MAGELLAN CORPORATION. **Ashtech Solutions™ User's Guide**. Santa Clara, USA, 2001.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: UNESP, 2000.

NORTON, P.; AITKEN, P.; WILTON, R. **A Bíblia do Programador**. Ed. Campus, RJ, 1993.

PRADO, A. **Análise da precisão e da correlação espacial nas técnicas DGPS e RTK**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Dep. De Geociências, UFPR. Curitiba, 2001.

RDS-DGPS. **Systeem**. Disponível em: <<http://www.d-d-s.nl/gps-rds1.htm>> Acesso em 3 nov 2001.

RTCM (1998). **RTCM recommended standards for differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) service**. Versão 2.2. RTCM Special Committee nº104, Alexandria, January 15, paper 11-98/SC104-STD.

SAATKAMP, E. D.; KRUEGER, C. P. **Introdução ao RDS e sua Utilização na Disseminação de Correções diferenciais para o DGPS**. 5º. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - COBRAC 2002. Anais em CD-ROM. Florianópolis, 2002.

SAYOOD, K. **Introduction to Data Compression**. 2ª. Ed. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, 2000.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin – New York, 1993.

SLUTTER, C. R.; KRUEGER, C. P.; MITISHITA, E. A.; VEIGA, L. A. K.; OLIVAS, M. A. A.; FAGGION, P. L. **Mapeamento da Cidade Universitária**. CD-ROM. 1ª. Ed. Dep. de Geomática, UFPR. Curitiba, 2001.

TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores**. Ed. Campus, RJ, 1994.



U.S. GOVERNMENT DOCUMENT. **Technical Characteristics of the NAVSTAR GPS.** Navtech Seminars & Navtech Book and Software Store, Inc., June 1991.

USNO – U.S. Naval Observatory, Time Service Dept. Washington, DC. **Leap Second.** Disponível em <http://tycho.usno.navy.mil/leapsec.html>. Acesso em 23 dez 2002.

WELLS, D. **Guide to GPS Positioning.** Canadian GPS Associates, Fredericton, N. B., Canadá, 1987.

**APÊNDICE 1 - PROGRAMA DECRTCM.BAS E TRECHO DE  
MENSAGEM ASCII/RTCM TIPO 1 E SUA  
DECODIFICAÇÃO/INTERPRETAÇÃO**

## Programa DECRTCM:

```

DECLARE FUNCTION convbindec! (BIN$)
DECLARE FUNCTION invordem$ (campo$) 'inverte a ordem de 6 bits
DECLARE FUNCTION invbit$ (campo$) 'inverte os bits (0 por 1 e vice-versa)
DECLARE FUNCTION convhexbin$ (ch$) 'converte 1 caractere hexadecimal em
bin rio

CLS
PRINT
"*****"
PRINT "*** PROGRAMA QUE L  DADOS BRUTOS RTCM TIPO 1 DE UM ARQUIVO OU DE
PORTA ***"
PRINT "*** SERIAL E OS CONVERTE PARA O FORMATO RTCM BINÁRIO PADRÃO,
DECODIFICA AS ***"
PRINT "*** INFORMAÇÕES E AS IMPRIME NO FORMATO NUMÉRICO DECIMAL NA TELA DO
COMPU- ***"
PRINT "*** TADOR E OPCIONALMENTE EM ARQUIVO - Versão: maio de 2002
***"
PRINT "*** AUTOR: ENO DARCI SAATKAMP - Email: enosaat@hotmail.com -
Curitiba-Brasil ***"
PRINT
"*****"
PRINT "*** IMPORTANTE: O AUTOR DISPONIBILIZA A VERSÃO EXECUTÁVEL DESTA
PROGRAMA .S ***"
PRINT "*** PESSOAS INTERESSADAS, VIA EMAIL, COM A CONDIÇÃO DE QUE O MESMO
NÃO SEJA ***"
PRINT "*** UTILIZADO COM PROPÓSITOS COMERCIAIS, E DE QUE OS RESULTADOS DE
TRABALHOS ***"
PRINT "*** REALIZADOS COM AUXÍLIO DO MESMO SEJAM, ASSIM COMO ELE, DE DOMÍNIO
PÚBLICO. ***"
PRINT
"*****"

'STATUS: funcionando corretamente (01.06.02)
PRINT
PRINT

INPUT "Deseja ler a partir de arquivo (a) ou de porta serial (s)"; ent$
IF ent$ = "a" THEN
    INPUT "Qual o nome do arquivo a ser lido "; arqe$
    OPEN (arqe$) FOR INPUT AS #1
    ELSE
    INPUT "Porta com1 (1) ou com2 (2) (comunicação em 9600,n,8,1) "; port$
END IF
INPUT "Deseja gravar saída em arquivo (s/n) "; arqs$
IF arqs$ = "s" THEN
    INPUT "Qual o nome do arquivo da sa da "; out$
    OPEN (out$) FOR OUTPUT AS #2
    INPUT "Deseja que as palavras bin rias também sejam gravadas no arq. de
sa da (s/n) ", pb$

```

```

END IF

DIM palbit$(22)
DIM SHARED tabela(1 TO 32, 1 TO 8)

IF ent$ = "s" AND port$ = "1" THEN
  OPEN "com1:9600,n,8,1,bin" FOR INPUT AS #1
  ELSE
    IF ent$ = "s" AND port$ = "2" THEN OPEN "com2:9600,n,8,1,bin" FOR INPUT
    AS #1
  END IF

LINE INPUT #1, q$
IF arqs$ = "s" THEN
  PRINT #2, "CONVERSÃO DE DADOS RTCM"
  PRINT #2, "AUTOR: ENO DARCI SAATKAMP - Email: enosaat@hotmail.com -
Curitiba-Brasil"
  PRINT #2, ""
  PRINT #2, ""
END IF
LINE INPUT #1, q$ 'le quadro

DO
  LINE INPUT #1, q$
  IF ent$ = "s" THEN
    cq = LEN(q$)
    q$ = RIGHT$(q$, cq - 1)
  END IF
  pc$ = LEFT$(q$, 1) 'primeiro caractere do quadro (p/ ver necessidade de
inversão)
  npal = 0 'inicializa no. da palavra
  quadro$ = "" 'inicializa quadro de dados sem paridade
  quad$ = "" 'inicializa quadro completo
  d30$ = "0"
  cq = LEN(q$) 'comp. do quadro
  FOR ccp = 1 TO cq STEP 5 'conjunto de 5 caracteres que formam cada
palavra
    npal = npal + 1
    pal$ = MID$(q$, ccp, 5)
    palbit$ = "" 'inicializa palavra em bits
    FOR car = 1 TO 5 'decodifica cada um dos 5 caracteres em hexa que
formam uma palavra (6 bits x 5 = 30)
      ch$ = LEFT$(HEX$(ASC(MID$(pal$, car, 1))), 1) 'caractere hexadecimal
      nib1$ = convhexbin$(ch$) 'nibble1 (4 bits)
      ch$ = RIGHT$(HEX$(ASC(MID$(pal$, car, 1))), 1)
      nib2$ = convhexbin$(ch$) 'nibble2
      campo$ = RIGHT$(nib1$, 2) + nib2$ 'campo de 1 palavra em bits
      IF pc$ = "Y" AND npal = 1 AND car <> 5 THEN campo$ =
invbit$(campo$) 'verifica se h inversão do valor dos bits na 1a. palavra
      IF d30$ = "1" AND car <> 5 THEN campo$ = invbit$(campo$) 'se bit D30
da pal ant. for 1, inverte valor dos bits
      campo$ = invordem(campo$)
      palbit$ = palbit$ + campo$
      palbit$(npal) = palbit$
    NEXT car
    d30$ = RIGHT$(palbit$(npal), 1)
    quad$ = quad$ + palbit$ 'quadro de dados com paridade
    quadro$ = quadro$ + LEFT$(palbit$, 24) 'quadro de dados sem paridade
  NEXT ccp
  cq = LEN(quad$)
  FOR p = 1 TO cq STEP 30 'separa palavras para a impressão

```



```

    pl$ = MID$(quad$, p, 30)
    IF arqs$ = "s" AND pb$ = "s" THEN PRINT #2, pl$
    PRINT pl$
NEXT p
PRINT
IF arqs$ = "s" THEN
    PRINT #2, ""
    PRINT #2, "No. de bits:"; cq,
END IF
PRINT "No. de bits: "; cq,

stid = convbindec(MID$(palbit$(1), 15, 10))
PRINT "stid: "; stid,
IF arqs$ = "s" THEN PRINT #2, "Stid: "; stid,
mzcount = .6 * convbindec(LEFT$(palbit$(2), 13))
PRINT "mzcount: "; mzcount
IF arqs$ = "s" THEN
    PRINT #2, "MZcount: "; USING "####.#"; mzcount
    PRINT #2, ""
END IF
PRINT

'*****

cq = LEN(quadro$)
FOR s = 48 TO cq - 40 STEP 40 'extra#Eo dos dados do quadro
    sat = convbindec(MID$(quadro$, s + 4, 5))
    tabela(sat + 1, 1) = sat '*****verificar erro de indice qdo sat=0
    PRINT "sat:"; sat,
    IF arqs$ = "s" THEN PRINT #2, "Sat: "; sat,
    sf = VAL(MID$(quadro$, s + 1, 1)) 'fator de escala
    IF sf = 0 THEN
        fprc = .02
        frrc = .002
    ELSE
        fprc = .32
        frrc = .032
    END IF
    tabela(sat + 1, 4) = convbindec(MID$(quadro$, s + 2, 2))'UDRE
    PRINT "UDRE:"; tabela(sat + 1, 4),
    IF arqs$ = "s" THEN PRINT #2, "UDRE: "; tabela(sat + 1, 4),
    tabela(sat + 1, 8) = convbindec(MID$(quadro$, s + 33, 8))'IOD
    PRINT "IOD:"; tabela(sat + 1, 8),
    IF arqs$ = "s" THEN PRINT #2, "IOD: "; tabela(sat + 1, 8),
    prcb$ = MID$(quadro$, s + 10, 15) 'PRC bin rio
    rrcb$ = MID$(quadro$, s + 26, 7) 'RRC bin rio
    IF MID$(quadro$, s + 9, 1) = "1" THEN 'verifica se PRC , negativo
        tabela(sat + 1, 5) = -fprc * (convbindec(invbit$(prcb$)) +
1)'complemento de 2
    ELSE
        tabela(sat + 1, 5) = convbindec(prcb$) * fprc
    END IF
    PRINT "PRC:"; USING "####.#"; tabela(sat + 1, 5);
    IF arqs$ = "s" THEN PRINT #2, "PRC:"; USING "####.#"; tabela(sat + 1,
5);
    IF MID$(quadro$, s + 25, 1) = "1" THEN 'verifica se RRC , negativo
        tabela(sat + 1, 7) = -frrc * (convbindec(invbit$(rrcb$)) +
1)'complemento de 2
    ELSE
        tabela(sat + 1, 7) = convbindec(rrcb$) * frrc
    END IF

```

```

    PRINT "    RRC:"; USING "###.###"; tabela(sat + 1, 7)
    IF arqs$ = "s" THEN PRINT #2, "    RRC:"; USING "###.###"; tabela(sat +
1, 7)

NEXT s
IF arqs$ = "s" THEN
    PRINT #2, ""
    PRINT #2, ""
END IF
PRINT
PRINT

'*****
LOOP UNTIL INKEY$ <> "" OR EOF(1)
CLOSE #1
IF arqs$ = "s" THEN CLOSE #2

FUNCTION convbindec (BIN$)
nb = LEN(BIN$)
sd = 0
FOR b = 1 TO nb
    vb = VAL(MID$(BIN$, nb - b + 1, 1)) 'valor num,rico do bit
    sd = sd + vb * 2 ^ (b - 1)'soma decimal
NEXT b
convbindec = sd
END FUNCTION

FUNCTION convhexbin$ (ch$)
SELECT CASE ch$
CASE "0"
    cbin$ = "0000"
CASE "1"
    cbin$ = "0001"
CASE "2"
    cbin$ = "0010"
CASE "3"
    cbin$ = "0011"
CASE "4"
    cbin$ = "0100"
CASE "5"
    cbin$ = "0101"
CASE "6"
    cbin$ = "0110"
CASE "7"
    cbin$ = "0111"
CASE "8"
    cbin$ = "1000"
CASE "9"
    cbin$ = "1001"
CASE "A"
    cbin$ = "1010"
CASE "B"
    cbin$ = "1011"
CASE "C"
    cbin$ = "1100"
CASE "D"
    cbin$ = "1101"
CASE "E"
    cbin$ = "1110"
CASE "F"
    cbin$ = "1111"

```

```

END SELECT
convhexbin$ = cbin$
END FUNCTION

'Função que inverte os bits (0 por 1 e 1 por 0) de uma palavra
FUNCTION invbit$ (campo$)
nb = LEN(campo$)
FOR b = 1 TO nb
IF MID$(campo$, b, 1) = "1" THEN
MID$(campo$, b, 1) = "0"
ELSE MID$(campo$, b, 1) = "1"
END IF
NEXT b
invbit$ = campo$
END FUNCTION

'Função para inverter a ordem dos bits de uma palavra
FUNCTION invordem$ (campo$)
nb = LEN(campo$)
L = INT(nb / 2)
FOR n = 1 TO L
ca$ = MID$(campo$, n, 1) 'caracter auxiliar
MID$(campo$, n, 1) = MID$(campo$, nb + 1 - n, 1)
MID$(campo$, nb + 1 - n, 1) = ca$
NEXT n
invordem$ = campo$
END FUNCTION
***fim do programa***

```

Trecho de mensagem RTCM tipo 1 na forma ASCII:

```

Y~}_CtOiDxg}qC@@JJz@j~oUhCx_PcApE'o|FT@`L^_[A`J]UUUA
fAB`|KP[{MXB@N|uuEUA`qW|G`JcBpEo|Fq_s@D_[APtbjjj~
Y~}_CtomDAXB@N|uuEUA`qW|G`JcBpEo|Fq_s@D_[N`}bjjj~
Y~}_Ct_bDwg}qC@@JJz@jqoGhCx_u|Ozlo|ff_s@a`dye`bjjj[
fAB`Yt_kDag}II@@JJz@jq_hCx_Pc@pEvo|fC@`L{'dyeE]UUUA
fAB`|K`X{YXB@vvuuEUN`cW|G`o|OzHPC@Y|_s@D_[J`C]UUUA
fAB`|K@Q{mg}II@@JJz@jqoGhCx_u|Ozmo|ff_s@a`duoB]UUUA
fAB`|K@^{g}IIuu`@jq_yW|G`JCCpERPC@YY@`L^_[JP}bjjj~
Y~}_CL@hDlg}II@@JJz@jqoGhCx_u|Ozmo|ff_s@a`du_Y]UUUD

```

Decodificação/interpretação da mensagem anterior pelo programa DECRTCM:

CONVERSO DE DADOS RTCM

AUTOR: ENO DARCI SAATKAMP - Email: enosaat@hotmail.com - Curitiba-Brasil

```

011001100000010000000001110000
001011111100100101001000000111
000110010000000000011100110000
000000000000010100010100010111
11111101010100000000010101010
00010111000000011111110000010

```

```

11000110000000000111010000000001
0000101100000000000100111001010
00000000000001001100111111011110
1111101101101000000000001010100
101110101010101010101010100000

```

No. de bits: 330

Stid: 1

MZcount: 917.4

Sat: 25	UDRE: 0	IOD: 5	PRC: 0.56	RRC: 0.000
Sat: 20	UDRE: 0	IOD: 23	PRC: -6.88	RRC: 0.004
Sat: 1	UDRE: 0	IOD: 232	PRC: -6.28	RRC: 0.000
Sat: 11	UDRE: 0	IOD: 19	PRC: 0.78	RRC: 0.000
Sat: 31	UDRE: 1	IOD: 186	PRC: -23.52	RRC: 0.002

```

01100110000000100000000001001111
0010111111101001001001000101100
0001100100000000000011100001111
0000000000000010100010100101000
1111111010101000000000001100011
0001011100000000111111110010100
1100010100000000011101000111111
0000101100000000000100111100011
00000000000001001100111111001000
1111101101101000000000010001011
10111010101010101010101010011111

```

No. de bits: 330

Stid: 1

MZcount: 918.0

Sat: 25	UDRE: 0	IOD: 5	PRC: 0.56	RRC: 0.000
Sat: 20	UDRE: 0	IOD: 23	PRC: -6.88	RRC: 0.002
Sat: 1	UDRE: 0	IOD: 232	PRC: -6.30	RRC: 0.000
Sat: 11	UDRE: 0	IOD: 19	PRC: 0.78	RRC: 0.000
Sat: 31	UDRE: 1	IOD: 186	PRC: -23.52	RRC: 0.004

```

01100110000000100000000001110000
0010111111101101101001000100000
0001100100000000000011100001111
0000000000000010100010100101000
1111111010101000000000001100011
0001011100000000111111110010100
1100010100000000011101000111111
0000101100000000000100111100011
00000000000001001100111111001000
1111101101100111000000001101111
10111010101010101010101010011111

```

No. de bits: 330

Stid: 1

MZcount: 918.6

Sat: 25	UDRE: 0	IOD: 5	PRC: 0.56	RRC: 0.000
Sat: 20	UDRE: 0	IOD: 23	PRC: -6.88	RRC: 0.002
Sat: 1	UDRE: 0	IOD: 232	PRC: -6.30	RRC: 0.000
Sat: 11	UDRE: 0	IOD: 19	PRC: 0.78	RRC: 0.000
Sat: 31	UDRE: 1	IOD: 186	PRC: -23.54	RRC: 0.002

```

01100110000000100000000001110000
001011111110010001001000111011
0001100100000000000011100110000
0000000000000010100010100010111

```



```

111111101010011100000010111000
00010111000000011111110101011
110001000000000011101000001101
000010110000000000100110011001
000000000001001100111111100001
111110110110011000000010000001
10111010101010101010101010110

```

No. de bits: 330

Stid: 1

MZcount: 919.2

Sat: 25	UDRE: 0	IOD: 5	PRC: 0.56	RRC: 0.000
Sat: 20	UDRE: 0	IOD: 23	PRC: -6.90	RRC: 0.004
Sat: 1	UDRE: 0	IOD: 232	PRC: -6.32	RRC: 0.000
Sat: 11	UDRE: 0	IOD: 19	PRC: 0.76	RRC: 0.000
Sat: 31	UDRE: 1	IOD: 186	PRC: -23.56	RRC: 0.004

```

011001100000010000000001100110
001011111110110101001000100001
000110010000000000011011100100
000000000000010100010100010111
111111101010011100000001001110
000101110000000111111110000010
110001000000000011101000011011
000010110000000000100110110000
00000000000100110011111110111
111110110110011000000010101000
101110101010101010101010100000

```

No. de bits: 330

Stid: 1

MZcount: 919.8

Sat: 25	UDRE: 0	IOD: 5	PRC: 0.54	RRC: 0.000
Sat: 20	UDRE: 0	IOD: 23	PRC: -6.90	RRC: 0.002
Sat: 1	UDRE: 0	IOD: 232	PRC: -6.32	RRC: 0.000
Sat: 11	UDRE: 0	IOD: 19	PRC: 0.76	RRC: 0.000
Sat: 31	UDRE: 1	IOD: 186	PRC: -23.56	RRC: 0.004

```

011001100000010000000001001111
001011111110111001001000100110
000110010000000000011011011011
000000000000010100010100101000
111111101010011100000001110001
000101110000000111111110111101
110000110000000011101000000100
000010110000000000100110001111
000000000001001100111111001000
111110110110010100000001110000
101110101010101010101010100000

```

No. de bits: 330

Stid: 1

MZcount: 919.8

Sat: 25	UDRE: 0	IOD: 5	PRC: 0.54	RRC: 0.000
Sat: 20	UDRE: 0	IOD: 23	PRC: -6.90	RRC: 0.002
Sat: 1	UDRE: 0	IOD: 232	PRC: -6.34	RRC: 0.000
Sat: 11	UDRE: 0	IOD: 19	PRC: 0.76	RRC: 0.000
Sat: 31	UDRE: 1	IOD: 186	PRC: -23.58	RRC: 0.002

```

011001100000010000000001001111
00101111111011101001000101101

```

```

000110010000000000011011100100
0000000000000010100010100010111
111111101010011100000010111000
000101110000000011111110101011
110000110000000011101000101101
000010110000000000100110011001
0000000000001001100111111100001
111110110110010100000010010000
101110101010101010101010100000

```

No. de bits: 330

Stid: 1

MZcount: 920.4

Sat: 25	UDRE: 0	IOD: 5	PRC: 0.54	RRC: 0.000
Sat: 20	UDRE: 0	IOD: 23	PRC: -6.90	RRC: 0.004
Sat: 1	UDRE: 0	IOD: 232	PRC: -6.34	RRC: 0.000
Sat: 11	UDRE: 0	IOD: 19	PRC: 0.76	RRC: 0.000
Sat: 31	UDRE: 1	IOD: 186	PRC: -23.58	RRC: 0.004

```

011001100000010000000001001111
001011111111100001001000111111
000110010000000000011011001101
000000000000010100010100000001
111111101010011100000001100111
000101110000000011111110010100
110000110000000011101000010010
000010110000000000100110100110
000000000000100110011111101110
111110110110010100000010101111
101110101010101010101010011111

```

No. de bits: 330

Stid: 1

MZcount: 921.0

Sat: 25	UDRE: 0	IOD: 5	PRC: 0.54	RRC: 0.000
Sat: 20	UDRE: 0	IOD: 23	PRC: -6.90	RRC: 0.002
Sat: 1	UDRE: 0	IOD: 232	PRC: -6.34	RRC: 0.000
Sat: 11	UDRE: 0	IOD: 19	PRC: 0.76	RRC: 0.000
Sat: 31	UDRE: 1	IOD: 186	PRC: -23.58	RRC: 0.004

```

0110011000000100000000001110000
0011000000000000101001000001101
0001100100000000000011011100100
0000000000000010100010100010111
111111101010011100000010111000
000101110000000011111110101011
110000110000000011101000101101
000010110000000000100110011001
0000000000001001100111111100001
111110110110010100000001100110
101110101010101010101010001001

```

No. de bits: 330

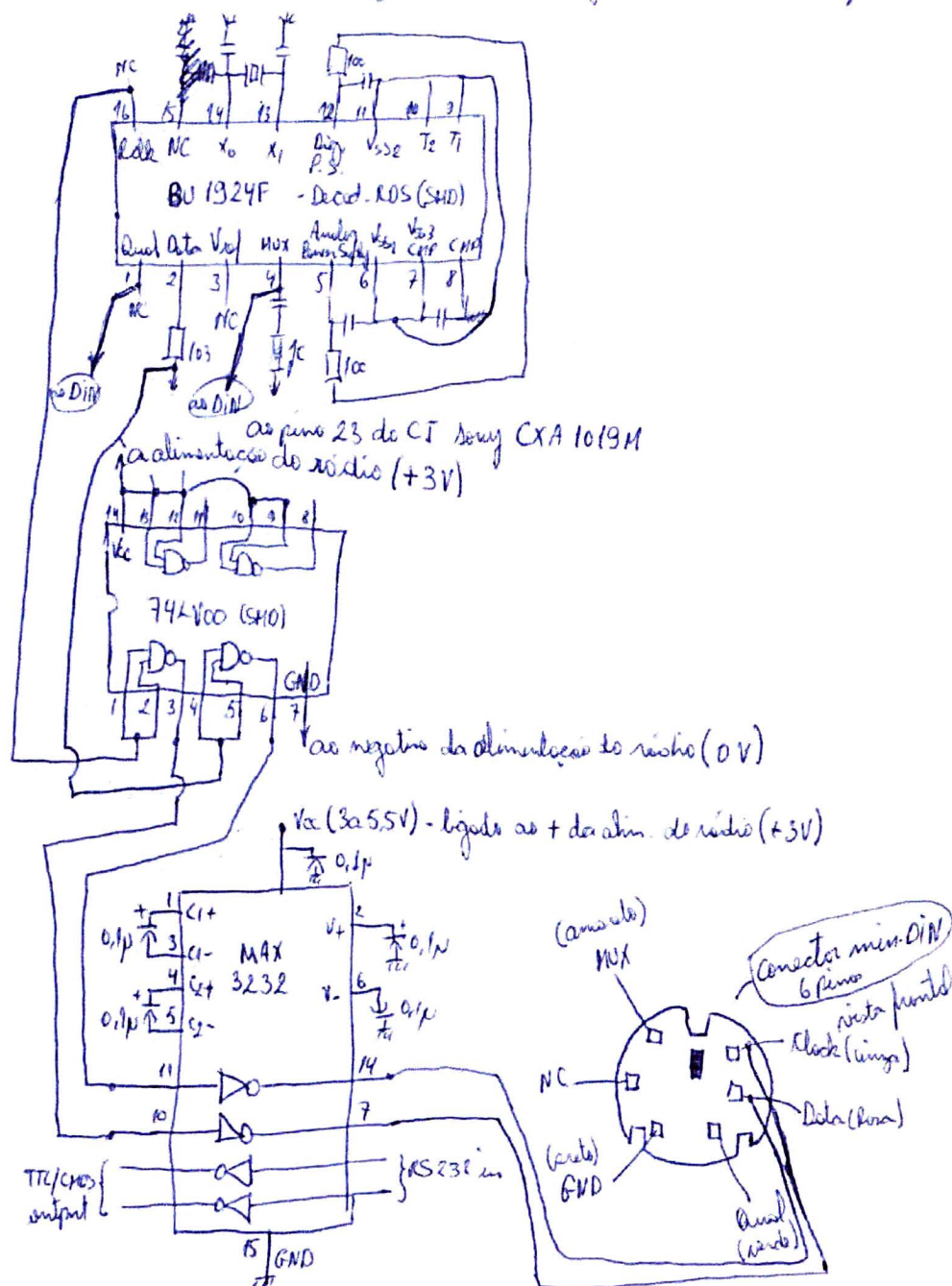
Stid: 1

MZcount: 921.6

Sat: 25	UDRE: 0	IOD: 5	PRC: 0.54	RRC: 0.000
Sat: 20	UDRE: 0	IOD: 23	PRC: -6.90	RRC: 0.004
Sat: 1	UDRE: 0	IOD: 232	PRC: -6.34	RRC: 0.000
Sat: 11	UDRE: 0	IOD: 19	PRC: 0.76	RRC: 0.000
Sat: 31	UDRE: 1	IOD: 186	PRC: -23.58	RRC: 0.002

**APÊNDICE 2 - ESQUEMA ELÉTRICO DO CIRCUITO DE  
INTERFACE DE COMUNICAÇÃO SERIAL  
PADRÃO RS232C ADAPTADO/INSTALADO NO  
RECEPTOR FM/DEMODULADOR RDS**

Esquema utilizado pr adaptador o receptor FM Sony ICF-M33RDS para extrair sinais RDS pr utilização externa (ligação porta serial do PComp)



03.07.2001

*[Signature]*



**ANEXO 1 - CONJUNTO PADRÃO DE CARACTERES ASCII E  
SEUS CÓDIGOS**

**ASCII Ctrl Dec Hexa    ASCII Dec Hexa    ASCII Dec Hexa    ASCII Dec Hexa**

☺	^@	0	00	<espaço>	32	20	@	64	40	,	96	60
☹	^A	1	01	!	33	21	A	65	41	a	97	61
♥	^B	2	02	"	34	22	B	66	42	b	98	62
♦	^C	3	03	#	35	23	C	67	43	c	99	63
♠	^D	4	04	\$	36	24	D	68	44	d	100	64
♣	^E	5	05	%	37	25	E	69	45	e	101	65
•	^F	6	06	&	38	26	F	70	46	f	102	66
■	^G	7	07	'	39	27	G	71	47	g	103	67
○	^H	8	08	(	40	28	H	72	48	h	104	68
●	^I	9	09	)	41	29	I	73	49	i	105	69
♂	^J	10	0A	*	42	2A	J	74	4A	j	106	6A
♀	^K	11	0B	+	43	2B	K	75	4B	k	107	6B
♪	^L	12	0C	,	44	2C	L	76	4C	l	108	6C
♫	^M	13	0D	-	45	2D	M	77	4D	m	109	6D
✳	^N	14	0E	.	46	2E	N	78	4E	n	110	6E
▶	^O	15	0F	/	47	2F	O	79	4F	o	111	6F
◀	^P	16	10	0	48	30	P	80	50	p	112	70
↑	^Q	17	11	1	49	31	Q	81	51	q	113	71
↓	^R	18	12	2	50	32	R	82	52	r	114	72
!!	^S	19	13	3	51	33	S	83	53	s	115	73
¶	^T	20	14	4	52	34	T	84	54	t	116	74
§	^U	21	15	5	53	35	U	85	55	u	117	75
—	^V	22	16	6	54	36	V	86	56	v	118	76
↑	^W	23	17	7	55	37	W	87	57	w	119	77
↑	^X	24	18	8	56	38	X	88	58	x	120	78
↓	^Y	25	19	9	57	39	Y	89	59	y	121	79
→	^Z	26	1A	:	58	3A	Z	90	5A	z	122	7A
←	^[	27	1B	;	59	3B	[	91	5B	{	123	7B
—	^\ ^	28	1C	<	60	3C	\	92	5C		124	7C
↔	^] ^	29	1D	=	61	3D	]	93	5D	}	125	7D
▲	^^	30	1E	>	62	3E	^	94	5E	~	126	7E
▼	^_	31	1F	?	63	3F	_	95	5F	Δ	127	7F

ASCII Dec Hexa			ASCII Dec Hexa			ASCII Dec Hexa			ASCII Dec Hexa		
Ç	128	80	À	160	A0	Ł	192	C0	α	224	E0
ü	129	81	Á	161	A1	ǀ	193	C1	β	225	E1
é	130	82	Â	162	A2	Ț	194	C2	Γ	226	E2
â	131	83	Ã	163	A3	┆	195	C3	π	227	E3
ä	132	84	Ä	164	A4	—	196	C4	Σ	228	E4
à	133	85	Å	165	A5	+	197	C5	σ	229	E5
á	134	86	ª	166	A6	†	198	C6	μ	230	E6
ç	135	87	º	167	A7	‡	199	C7	τ	231	E7
ê	136	88	¿	168	A8	ℓ	200	C8	Φ	232	E8
ë	137	89	¬	169	A9	ℓ	201	C9	Θ	233	E9
è	138	8A	¬	170	AA	ℓ	202	CA	Ω	234	EA
ı	139	8B	½	171	AB	̄	203	CB	δ	235	EB
İ	140	8C	¼	172	AC	̄	204	CC	∞	236	EC
ì	141	8D	ı	173	AD	≡	205	CD	φ	237	ED
Ĭ	142	8E	«	174	AE	ℓ	206	CE	ε	238	EE
Ā	143	8F	»	175	AF	±	207	CF	∩	239	EF
É	144	90	■	176	B0	ℓ	208	D0	≡	240	F0
æ	145	91	■	177	B1	̄	209	D1	±	241	F1
Æ	146	92	■	178	B2	π	210	D2	≥	242	F2
ô	147	93		179	B3	ℓ	211	D3	≤	243	F3
ö	148	94	┆	180	B4	ℓ	212	D4	∫	244	F4
ò	149	95	‡	181	B5	F	213	D5	J	245	F5
û	150	96		182	B6	π	214	D6	+	246	F6
ù	151	97	π	183	B7		215	D7	~	247	F7
ÿ	152	98	π	184	B8	‡	216	D8	◦	248	F8
ö	153	99		185	B9	J	217	D9	•	249	F9
Û	154	9A		186	BA	ℓ	218	DA	·	250	FA
¢	155	9B		187	BB	■	219	DB	√	251	FB
£	156	9C		188	BC	■	220	DC	η	252	FC
¥	157	9D		189	BD	■	221	DD	²	253	FD
₤	158	9E		190	BE	■	222	DE	•	254	FE
f	159	9F		191	BF	■	223	DF		255	FF

**ANEXO 2 - *E-MAIL* REFERENTE AO EMPRÉSTIMO DO PROGRAMA  
RDS-20.PAS**



Hallo Herr Saatkamp,

danke für Ihre Mail.

Am Dienstag den, 25. Juni 2002, um 16:46, schrieb Eno D. Saatkamp:

> Zuerst, entschuldige mir bitte wenn mein Deutsch nicht so gut ist.  
>

E muito bem, o meu português não e tanto bem que o vosso alemão... ;-)

> ... Stuttgart war ich fast 4 Monat am Institut für Erdmessung (IfE),  
> Universität Hannover. Ich habe mir zum Ziel gesetzt, einen UKW  
> basierten DGPS-Korrekturdatendienst für Brasilien zu entwickeln  
> (ungefähr wie RASANT in Deutschland). RDS ist fast noch nicht bekannt  
> und nicht benutzt hier. Dass ...

RASANT kenne ich zwar nicht, ich kann mir aber ungefähr vorstellen, worum es geht, denn ich habe Geographie (und Französisch und Spanisch) auf Lehramt studiert (1990-1999 in Freiburg).

> ... Programmierer). Darum möchte ich fragen: gibt es eine möglichkeit,  
> eurem RDS dekoder Program auszuleihen oder verkaufen? In prinzip  
> brauche ich der 'Code' in Pascal. Oder, eine möglichkeit wär ...

Wir verkaufen es nicht, aber für wissenschaftliche Zwecke können Sie selbstverständlich gratis eine Kopie des Source-Codes in Pascal erhalten. Ich habe ihn irgendwo zuhause auf dem Computer (in Freiburg, Deutschland) und nehme morgen alles mit und stelle es (zipped) auf einen Server bei mir auf der Arbeit (in Basel, Schweiz) und sende Ihnen dann morgen die Download-Adresse per Mail zu.

Ich hoffe, Sie kommen mit dem Code klar. Ursprünglich war das ein Programm von Dr.-Ing. Martin Ohsmann, der das Programm für eine in der Zeitschrift "elektor" publizierte Schaltung geschrieben hat. Herr Ohsmann hat uns erlaubt, seinen Code zu benutzen und daraus ein grösseres/besseres Programm zu machen. Von Herrn Ohsmann stammen wohl auch noch die Dekoldier-Routinen. Jochen Zeitler hat einen grossen Teil unseres Codes dazu geschrieben und ich habe mich damals (ca. 1994) um das "Screendesign" und das erweiterte Konzept des Programms gekümmert.

Ich werde Ihnen also morgen wieder schreiben.

Viele Grüsse aus der Schweiz nach Brasilien...

... Udo Deutscher.

--

Udo Deutscher  
Assistent/Computerverantwortlicher  
Romanisches Seminar, Stapfelberg 7-9, CH-4051 Basel  
Tel.: 0041/(0)61/267.12.70, FAX: 267.12.86  
[udo.deutscher@unibas.ch](mailto:udo.deutscher@unibas.ch)  
<http://www.romsem.unibas.ch>

**ANEXO 3 - TERMO DE COOPERAÇÃO TÉCNICO/CIENTÍFICA ENTRE A  
RTVE E A UFPR**



## TERMO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA E CIENTÍFICA

**TERMO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA E CIENTÍFICA,** QUE FAZEM ENTRE SI A **RÁDIO E TELEVISÃO EDUCATIVA DO PARANÁ-RTVE**, AUTARQUIA DO GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ, INSCRITA NO CNPJ SOB Nº 80.234.537/0001-55 E ISENTA DE INSCRIÇÃO ESTADUAL, COM SEDE NESTA CAPITAL, NA RUA JÚLIO PERNETA, 695, NESTE ATO REPRESENTADA POR SEUS DIRETORES, ADMINISTRATIVO-FINANCEIRO, **SRA. JUCÉLIA MARIA MENDES RAMOS**, BRASILEIRA, PORTADORA DA CÉDULA DE IDENTIDADE RG Nº 2.204.399-4 E DO CPF/MF Nº 590.106.499-20, E TÉCNICO, **SR. NELSON RIBAS**, BRASILEIRO, PORTADOR DA CÉDULA DE IDENTIDADE RG. Nº 9.418.858-0/PR E CPF Nº 437.866.508-53, E DE OUTRO LADO, **CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS – CPGCG - DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**, NESTE ATO REPRESENTADO POR SEU COORDENADOR, PROF. DR. **EDSON APARECIDO MITISHITA** E PELA ORIENTADORA PROF.<sup>a</sup> DR.<sup>a</sup> **CLÁUDIA PEREIRA KRUEGER**, NAS SEGUINTE CLÁUSULAS E CONDIÇÕES:

### CLÁUSULA PRIMEIRA – DO OBJETO

O presente tem por objeto o estabelecimento de condições, direitos e obrigações entre as partes signatárias, para a realização de testes práticos e validação de um sistema desenvolvido no CPGCG, pelo aluno de doutorado SR. ENO DARCI SAATKAMP, através do uso do RDS (Radio Data System), ou sistema de transmissão de dados, para a transmissão de dados de correção diferencial para o posicionamento por GPS (Global Positioning System), pelo método diferencial (DGPS), que permite um posicionamento mais acurado em tempo real, obtendo-se acurácia melhor que 3 metros.

### CLÁUSULA SEGUNDA – DAS COMPETÊNCIAS DOS PARTICIPES

#### I - Compete à RTVE:

- a) possibilitar o acesso do aluno doutorando supra mencionado, às instalações da emissora;
- b) monitoramento e supervisão pelo Diretor Técnico da RTVE, de toda a atividade desenvolvida pelo aluno doutorando, nas instalações e equipamentos da RTVE, enquanto perdurarem os testes.



Rádio e Televisão Educativa do Paraná  
Rua Júlio Pernet, 695 CEP 80810 - 100 Mercês Curitiba Paraná  
Fone (41)331-7400 Fax (41)331-7449  
E-mail canalparana@pr.gov.br



- c) permitir a instalação, pelo aluno doutorando, do equipamento codificador RDS (Datacaster) de propriedade do CPGCG;
- d) permitir o uso, através do codificador RDS, da subportadora de 57 kHz do sinal da emissora FM Educativa 97,1 MHz, durante o período dos testes.

## II - Compete à CPGCG:

- a) Agendar junto à Direção Técnica da RTVE, com antecedência mínima de 48 (quarenta e oito) horas, as visitas necessárias à execução do objeto deste termo;
- b) desempenhar suas atividades nas instalações da RTVE em estrita observância às orientações da Direção Técnica, e sempre, sob a supervisão do Diretor Técnico, jamais desacompanhado deste;
- c) assumir toda e qualquer responsabilidade dos atos praticados pelo aluno doutorando, enquanto da execução deste teste, isentando desde já, a RTVE de eventuais demandas que possam advir da execução do presente termo de cooperação;
- d) zelar pelos equipamentos de propriedade da RTVE, utilizados na execução dos testes, comprometendo-se a repará-los em caso de danos, ou ainda, substituí-los por outro de igual ou superior qualidade, caso o conserto não seja possível;
- e) disponibilizar à RTVE, para que mantenha em seus arquivos técnicos, o relatório conclusivo dos testes realizados.

## CLÁUSULA TERCEIRA – DA AUTONOMIA

Declaram expressamente os signatários, que o aluno doutorando SR. ENIO DARCI SAATKAMP, infra assinado na condição de anuente ao presente termo, ou terceiros envolvidos na execução deste termo de cooperação, não possuem nenhum vínculo empregatício, ou de outra natureza com a RTVE.

**PARÁGRAFO ÚNICO:** Cabe à CPGCG, quando for o caso, o recolhimento dos encargos sociais, fiscais, tributários e obrigações trabalhistas, provenientes da produção do programa, ficando a RTVE isenta de qualquer responsabilidade.

## CLÁUSULA QUARTA – DA VIGÊNCIA

O presente termo terá vigência de 15 (quinze) dias, contados a partir da data de sua assinatura, podendo ser prorrogado por iguais períodos.

## CLÁUSULA QUINTA – DA RESCISÃO

O presente termo poderá ser rescindido a qualquer tempo, mediante comunicação expressa por qualquer das partes, com antecedência mínima de 48(quarenta e oito) horas, ou automaticamente pelo descumprimento das cláusulas e condições aqui pactuadas.



Rádio e Televisão Educativa do Paraná  
Rua Júlio Perneta, 695 CEP 80810 - 100, Mercês, Curitiba Paraná  
Fone (41)331-7400 Fax (41)331-7449  
E-mail canalparana@pr.gov.br







#### CLÁUSULA SEXTA – DO FORO

Fica eleito o foro da Comarca de Curitiba, PR, para dirimir dúvidas provenientes deste instrumento.

E, por estarem justos e contratados, firmam o presente em 02 (duas) vias de igual teor e forma, na presença das testemunhas abaixo.

Curitiba, 29 de novembro de 2002.

  
JUCÉLIA MARIA MENDES RAMOS  
Diretor Administrativo-Financeiro-RTVE

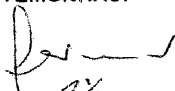
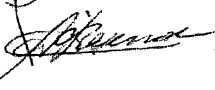
  
NELSON RIBAS  
Diretor Técnico-RTVE

  
EDSON APARECIDO MITISHITA  
Coordenador do CPGCG da UFPR

  
CLÁUDIA PEREIRA KRUEGER  
Orientadora

  
ENIO DARES SAATKAMP  
Aluno Doutorando Anuente

#### TESTEMUNHAS:

1. 
2. 



Rádio e Televisão Educativa do Paraná  
Rua Júlio Perneta, 695 - CEP 80810 - 100 - Mercês - Curitiba - Paraná  
Fone (41)331-7400 Fax (41)331-7449  
E-mail canalparana@pr.gov.br

**ANEXO 4 - SIGLAS E DEFINIÇÕES DE TERMOS E EXPRESSÕES  
RELATIVOS AO RDS**

Para que o leitor tenha um conhecimento dos termos e das expressões utilizadas no contexto do RDS, descrever-se-á as definições e os símbolos estabelecidos para o mesmo. Inicialmente, relacionam-se, no quadro A as abreviações mais usadas, e seus correspondentes significados em português e original (em inglês).

QUADRO A – SIGLAS UTILIZADAS NO RDS

<b>Sigla</b>	<b>Significado em Português</b>	<b>Significado original em Inglês</b>
<b>AF</b>	Frequências alternativas	<i>Alternative Frequencies list</i>
<b>AID</b>	Identificador da aplicação ODA	<i>Applications Identification for ODA</i>
<b>CI</b>	Identificador do País	<i>Country Identifier</i>
<b>CT</b>	Data e hora	<i>Clock Time and date</i>
<b>DI</b>	Identificador de decodificação	<i>Decoder Identification</i>
<b>EG</b>	Indicador de extensão genérica	<i>Extended Generic indicator</i>
<b>EON</b>	Utilização de funções de outras emissoras	<i>Enhanced Other Networks information</i>
<b>EWS</b>	Sistema de alerta de emergência	<i>Emergency Warning System</i>
<b>IH</b>	Aplicações internas	<i>In House application</i>
<b>ILS</b>	Indicador de conexão internacional	<i>International Linkage Set indicator</i>
<b>LA</b>	Accionador de conexão	<i>Linkage Actuator</i>
<b>LI</b>	Identificador de conexão	<i>Linkage Identifier</i>
<b>LSN</b>	Número de conexão	<i>Linkage Set Number</i>
<b>MJD</b>	Dia Juliano Modificado	<i>Modified Julian Day</i>
<b>MS</b>	Comutador Música/voz	<i>Music Speech switch</i>
<b>ODA</b>	Aplicações abertas de dados	<i>Open Data Applications</i>
<b>OM</b>	Onda Média	<i>Medium Wave</i>
<b>ON</b>	Outras Redes	<i>Other Networks</i>
<b>PI</b>	Identificador da emissora	<i>Programme Identification</i>
<b>PIN</b>	Número de identificação do programa transmitido	<i>Programme Item Number</i>
<b>PS</b>	Nome da emissora	<i>Programme Service name</i>
<b>PTY</b>	Tipo de programação	<i>Programme TYPe</i>
<b>PTYN</b>	Nome do tipo de programação	<i>Programme TYpe Name</i>
<b>RDS</b>	Sistema de Radiotransmissão de dados	<i>Radio Data System</i>
<b>RT</b>	Radiotexto	<i>Radio Text</i>
<b>TA</b>	Aviso de boletim de trânsito	<i>Traffic Announcement flag</i>
<b>TDC</b>	Canais transparentes de dados	<i>Transparent Data Channel</i>
<b>TMC</b>	Canal de mensagem de trânsito	<i>Traffic Message Channel</i>
<b>TP</b>	Indicador de informações de trânsito	<i>Traffic Programme flag</i>
<b>UTC</b>	Tempo Universal Coordenada	<i>Coordinated Universal Time</i>

FONTE: ANATEL (2002, p. 42 e 43)

- Frequências Alternativas (AF)

É uma função que utiliza a tabela de frequências de emissoras inter-relacionadas com a emissora sintonizada, proporcionando uma comutação rápida de frequência

quando há perda do sinal da emissora sintonizada, sendo feita em função da melhor recepção de sinal. É particularmente empregada para recepção móvel.

- Data e Hora (CT)

É uma função através da qual são transmitidas data e hora locais, para acertar o relógio do receptor. Ela utiliza o Tempo Universal Coordenado (UTC) e o Dia Juliano Modificado (MJD). O fuso horário deve ser informado ao equipamento codificador RDS.

- Identificador de Decodificação (DI)

É uma função que indica ao decodificador de áudio do receptor qual o modo de operação de áudio que está sendo transmitido, bem como se o tipo de programação (PTY) é comutado dinamicamente.

- Utilização de Funções de Outras Emissoras (EON)

É uma função que possibilita a transmissão de informações relativas a estações diferentes (ON) daquela sintonizada, tais como Freqüências Alternativas (AF), Nome da Emissora (PS), Indicador de Informações de Trânsito (TP), Boletins de Trânsito (TA), Tipo de Programa (PTY), Identificação da Emissora (PI) e Informações de Conexão (LI), de forma a mantê-las sempre atualizadas no receptor. Isto é possível através do cruzamento de informações contidas nos PI's dessas outras emissoras. Assim, através da estação sintonizada, é possível a sintonia temporária das outras estações a ela referenciadas pelo EON, em situações específicas tais como:

- perda do sinal da emissora sintonizada (TN); enquanto o receptor não encontra uma freqüência alternativa, ele pode selecionar uma estação (ON) a ela referenciada pelo EON utilizando as informações nele atualizadas, como, por exemplo, o Tipo de Programação (PTY) ou o Número de Identificação do Programa Transmitido (PIN);

- transmissão de conteúdos previamente acordados como prioritários entre as estações referenciadas pelo EON, tais como boletins de trânsito, acessados pelo TA e pelo TP.



Finda a situação específica, o receptor retorna à estação sintonizada (TN).

- Sistema de Alerta de Emergência (EWS)

É uma aplicação que permite a transmissão de códigos de alerta de emergência para receptores especiais. Os receptores convencionais não são afetados por esta aplicação.

- Aplicações Internas (IH)

São aplicações utilizadas apenas pelo operador do RDS, tais como telecomando e telemetria para próprio uso.

- Comutador Música/Voz (MS)

É um indicador de dois estados que informa ao receptor se o programa transmitido é música ou locução. Conforme a característica predominante do programa transmitido (locução ou música), o receptor automaticamente ajusta o volume conforme pré-programado pelo próprio ouvinte. Basicamente, esta função atua como se os receptores fossem dotados de dois controles de volume, um para locução e outro para música. Não há oscilação de volume, o ajuste ocorre conforme a característica predominante do programa como um todo.

- Aplicações Abertas de Dados (ODA)

São quaisquer aplicações diversas daquelas previamente especificadas, ou seja, é a utilização de grupos abertos para aplicações particulares e não previamente especificadas, que permitem a transmissão de dados, através do RDS, para receptores dedicados. Os dados podem ser transportados em diversos grupos, conforme indicado no quadro 03 (seção 3.1). Dentre suas aplicações, cita-se o DGPS, utilizando-se tipicamente o grupo 5A ou 11A para esta finalidade. Para este trabalho (DGPSBRDS), utilizou-se especificamente o grupo 11A.

- Identificador da Emissora (PI)

É um código que habilita o receptor a identificar uma emissora ou um grupo de emissoras inter-relacionadas. A identificação não é mostrada diretamente no visor do receptor e é atribuída a cada emissora individualmente ou a cada grupo de emissoras inter-relacionadas.

- Número de Identificação do Programa Transmitido (PIN)

É um código que indica o início de um determinado programa e é utilizado para permitir que um receptor acione automaticamente seu gravador para gravar um determinado programa pré-selecionado pelo ouvinte.

- Nome da Emissora (PS)

É uma aplicação que mostra no visor de um receptor dotado do RDS a informação do nome da emissora em que está sintonizado, substituindo a frequência da estação que aparece nos receptores convencionais. Esta aplicação não é utilizada para busca automática de sintonia e não se recomenda o seu uso para informação seqüencial.

- Tipo de Programação (PTY)

É uma aplicação que identifica até 31 diferentes tipos de programação transmitida (por ex.: notícias, esportes, educação, novela, música popular, rock, meteorologia, religião, viagem, música folclórica, documentário, entre outros), indicada no visor do receptor, podendo ser utilizada para busca de sintonia. Esta aplicação pode, também, habilitar o receptor a acionar seu gravador para gravar apenas os tipos de programação selecionados. A emissora pode alterar o PTY de acordo com o tipo de programa transmitido.

- Nome do Tipo de Programação (PTYN)

É uma aplicação utilizada para detalhar o PTY da emissora sintonizada (por exemplo, PTY=4: esporte; PTYN: futebol). O PTYN é mostrado no visor do receptor, alternadamente com o PTY. O PTYN não pode ser usado para seleção automática de PTY e nem deve ser usado para dar informação seqüencial.

- Radiotexto (RT)

É uma aplicação que possibilita a transmissão de texto codificado, com até sessenta e quatro caracteres, para receptores dotados de visores adequados.

- Aviso de Boletim de Trânsito (TA)

É uma função do tipo liga/desliga que indica a transmissão de um boletim de trânsito e permite que o receptor comute temporariamente sua sintonia para a estação que está originando o boletim. Esta função pode ser utilizada para:

- comutar automaticamente de qualquer fonte de áudio para boletim de trânsito;
- comutar automaticamente para boletim de trânsito quando o receptor está no modo de recepção de espera, com áudio mudo;
- comutar de uma emissora para outra que esteja veiculando boletim de trânsito.

Ao final da transmissão do boletim de trânsito, o modo inicial de operação é restaurado.

- Canais Transparentes de Dados (TDC)

É uma aplicação constituída de 32 canais, que permite a transmissão de quaisquer tipos de dados com finalidades específicas.

- Canal de Mensagens de Trânsito (TMC)

É uma aplicação que se destina à transmissão codificada de informações sobre o trânsito.

- Indicador de Informações de Trânsito (TP)

É um código que indica que a emissora sintonizada transporta informações de trânsito, o que pode ser mostrado no visor do receptor.

- Emissoras Inter-relacionadas

São emissoras que integram a Lista de Frequências Alternativas umas das outras, todas possuindo o mesmo PI, caracterizando uma operação em parceria que visa o uso do RDS para a sintonia automática de suas frequências, de acordo com a melhor recepção do sinal.

- Emissoras referenciadas pelo EON

São emissoras que integram um grupo de estações referenciadas pelo cruzamento de seus PIs, para fins de atualização de seus dados e, em situações específicas, para fins de sintonia temporária.